


**Control method and device for a drilling process**

Patent Number: DE3207012  
Publication date: 1983-12-29  
Inventor(s): MOTSOCHEIN BORIS I (SU); PARFENOV BORIS M (SU); ZILIKOV VALENTIN V (SU)  
Applicant(s): MOTSOCHEIN BORIS I (SU); PARFENOV BORIS M (SU); ZILIKOV VALENTIN V (SU)  
Requested Patent: ☐ DE3207012  
Application Number: DE19823207012 19820226  
Priority Number(s): DE19823207012 19820226  
IPC Classification: E21B44/00; G06F15/46; G05B19/04; G05B13/04  
EC Classification: B23Q15/12, E21B44/00  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

In the first cycle of the two-stage drilling test, a drilling rate is determined according to preset values of controlled parameters and approximate quantities of factors of the adaptive model which are to be supplemented, which drilling rate is compared with a value, measured in the same cycle, of the given rate, and, after the results of the comparison, corrected values of the corresponding factor to be supplemented of the adaptive model are formed, with regard to which the values coming closest to the optimum values of the control signals are determined, which values appear as setting values for acting on a drill bit in the following cycle of the drilling test. During every following cycle, the supplemented factors of the preceding cycle are used in determining the control signals. If the measured drilling rate and the drilling rate to be determined coincide in two successive cycles, a control signal formed during these cycles appears as a signal which is used in the actual drilling operation. 

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 32 07 012.8  
22 Anmeldetag: 26. 2. 82  
43 Offenlegungstag: 29. 12. 83

DE 32 07 012 A 1

71 Anmelder:  
Žilikov, Valentin V., Malachovka, Moskovskaja  
oblast', SU; Motsoshein, Boris I.; Parfenov, Boris M.,  
Moskva, SU  
74 Vertreter:  
Luyken, R., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 8000 München

72 Erfinder:  
gleich Anmelder

56 Recherchenergebnisse nach § 43 Abs. 1 PatG:  
DE-AS 22 46 008  
DE-OS 21 09 992



Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Steuerungsmethode und Einrichtung für ein Bohrverfahren

Im ersten Takt des zweistufigen Bohrversuches wird nach Vorgabewerten gesteuerter Parameter und nach Nahrungsgrößen zu ergänzenden Faktoren des adaptiven Modells eine Bohrgeschwindigkeit bestimmt, die mit einem im gleichen Takt gemessenen Wert der gegebenen Geschwindigkeit verglichen wird, und nach den Ergebnissen des Vergleiches werden korrigierte Werte des entsprechenden zu ergänzenden Faktors des adaptiven Modells formiert, unter deren Berücksichtigung die den Optimalwerten der Steuersignale am nächsten kommenden Werte ermittelt werden, die als Einstellwerte für eine Einwirkung auf einen Bohrmeißel im nachfolgenden Takt des Bohrversuches auftreten. In jedem nachfolgenden Takt werden bei der Bestimmung der Steuersignale die ergänzten Faktoren des vorhergehenden Taktes benutzt. Bei einer Koinzidenz der gemessenen und der zu bestimmenden Bohrgeschwindigkeit in zwei aufeinanderfolgenden Takten tritt ein bei diesen Takten geformtes Steuersignal als ein Signal auf, das im eigentlichen Bohrbetrieb benutzt wird. (32 07 012)

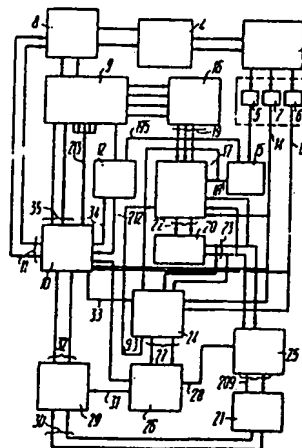


FIG. 3

DE 32 07 012 A 1

Valentin V. Zhilikov

Moskau / UdSSR

und 2 weitere Anmelder

P 83 971-E-61

26.02.1982

L/Ro

**STEUERUNGSMETHODE UND EINRICHTUNG FÜR EIN  
BOHRVERFAHREN**

**P A T E N T A N S P R U C H E**

1. Steuerungsmethode für ein Bohrverfahren, der ein adaptives Modell für ein Bohrverfahren zugrundegelegt ist, darin bestehend, daß sie sich aus zwei Steuerungsmethoden zusammensetzt, von denen eine einen Bohrversuch für eine zu bohrende Gesteinsplatte und die andere den eigentlichen Bohrbetrieb darstellt, wobei

- in dem üblichen Mehrtakt-Bohrversuch für eine Gesteinsplatte bei jedem Takt Werte für gesteuerte Parameter des Bohrverfahrens vorgegeben,

- eine den Vorgabewerten der gesteuerten Parameter entsprechende Bohrgeschwindigkeit gemessen und

- nach Beendigung des letzten Taktes an entsprechenden Stellmechanismen des Bohrwerkzeuges ankommende Steuersignale geformt,

- nach den Ergebnissen des Bohrversuches

a) im eigentlichen Bohrbetrieb verwendete Steuersignale und

b) ein Signal für einen Übergang vom Bohrversuch zum eigentlichen Bohrbetrieb geformt,

- und bei einer Abweichung <sup>der</sup> überwachenden Parameter des Bohrverfahrens von den Sollwerten vom eigentlichen Bohrbetrieb zur Wiederholung des Bohrversuches übergegangen wird, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß

- im ersten Takt des Bohrversuches nach den Vorgabewerten der gesteuerten Parameter und nach den angenommenen Näherungsgrößen zu ergänzender Faktoren des adaptiven Modells eine Bohrgeschwindigkeit ermittelt,

- diese Bohrgeschwindigkeit mit einem im gegebenen Takt gemessenen Wert der gleichen Geschwindigkeit verglichen und

- nach den Ergebnissen des Vergleiches eine korrigierte Größe des entsprechenden zu ergänzenden Faktors des adaptiven Modells geformt,

- worauf die <sup>kommenden</sup> nächsten Werte der Steuersignale, die als Einstellwerte für eine Einwirkung auf einen Bohrmeißel im nächsten Takt des Bohrversuches wirken, ermittelt und

- in jedem nachfolgenden Takt bei der Bestimmung der Steuersignale die ergänzten Faktoren des vorangegangenen Taktes ausgenutzt werden, wobei

- bei einem Übergang zu jedem nachfolgenden Takt die Werte der zu bestimmenden Steuersignale an die Optimalwerte unter den gegebenen Bohrbedingungen angenähert werden und

- bei einer Koinzidenz der gemessenen und der zu be-

stimmenden Bohrgeschwindigkeit in zwei aufeinanderfolgenden Takten ein während dieser Takte geformtes Steuersignal als im eigentlichen Bohrbetrieb benutztes Steuersignal dient.

2. Methode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das adaptive Modell des Arbeitsablaufes im Bohrverfahren ausgehend von folgendem Gleichungssystem:

$$\ln v(N) = \sum_{i=1}^m k_i(N) \ln x_i + \sum_{j=1}^m x_j \ln k_j(N)$$

aufgebaut wird, wobei

N eine Taktnummer,

v(N) einen Rechenwert für die Bohrgeschwindigkeit im N-ten Takt,

k<sub>i</sub>, k<sub>j</sub> den gesteuerten Parametern entsprechende zu ergänzende Faktoren des adaptiven Modells,

x<sub>i</sub>, x<sub>j</sub> Werte der Steuerparameter und

i, j Nummern der gesteuerten Parameter,

bezeichnen, wobei die korrigierte Größe der entsprechenden zu ergänzenden Faktoren nach den Formeln:

$$k_i(N) = k_i(N-1) + \text{sign}[\ln v(N) - \ln v] \cdot \frac{\alpha \ln x_i}{\sum_{i=1}^m (\ln x_i)^2 + \sum_{j=1}^m x_j^2}$$

$$k_j(N) = \exp \left\{ \ln k_j(N-1) + \text{sign}[\ln v(N) - \ln v] \cdot \frac{\alpha x_j}{\sum_{i=1}^m (\ln x_i)^2 + \sum_{j=1}^m x_j^2} \right\}$$

bestimmt wird, wobei

- v einen Meßwert der Bohrgeschwindigkeit und  
d einen Faktor, dessen Größe von einer Differenz aus dem Meß- und Rechenwert der Bohrgeschwindigkeit abhängig ist,

bezeichnet.

3. Methode nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t, daß die Steuersignale im eigentli-  
chen Bohrbetrieb mit der Bohrzeit stufenweise geändert wer-  
den, wobei deren Periodizität und Änderungsgrad mit Hilfe  
des adaptiven Modells in der Weise ermittelt werden, daß sie  
nahe bei den Optimalwerten unter Berücksichtigung eines Ver-  
schleißes der Bohrmeißelausrüstung und -stützen im Bohrver-  
fahren bleiben.

4. Methode nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zur Ergän-  
zung der Faktoren des adaptiven Modells im eigentlichen  
Bohrbetrieb diese Faktoren entsprechend den für konkrete  
Bohrbedingungen erhaltenen vorgegebenen Steuersignalen und  
Bohrgeschwindigkeitswerten ermittelt werden.

5. Methode nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß bei einer  
beträchtlichen Abweichung der Bohrgeschwindigkeit von deren  
Rechenwert zu einem wiederholten Bohrversuch übergegangen  
wird, wobei die im Zeitmoment einer Beendigung des eigent-  
lichen Bohrbetriebes erhaltenen Faktoren des adaptiven Mo-  
dells als Ausgangsgrößen für die Faktoren des ersten Taktes  
des wiederholten Bohrversuches angenommen werden.

6. Methode nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß als gesteuerte Parameter eine Bohrmeißelbelastung und -drehzahl gewählt werden.

7. Einrichtung zur Verwirklichung der Methode nach Anspruch 1, die

- ein Steuerpult (9) für das Bohrverfahren, das über einen Digital-Analog-Umsetzer (8) für Signale mit Stellmechanismen (4) des Bohrwerkzeuges (3) in Wechselwirkung steht,

- einen Bohrgeschwindigkeitsgeber (5),
- einen Lastgeber (6) für den Bohrmeißel,
- einen Drehzahlgeber (7) für den Bohrmeißel,
- eine elektronische Recheneinrichtung, in der das adaptive Modell des Bohrverfahrens enthalten ist, die mit dem Lastgeber (6) und dem Drehzahlgeber (7) für den Bohrmeißel sowie mit dem Bohrgeschwindigkeitsgeber (5) und mit dem Steuerpult (9) zusammenwirkt und eine Formierungseinheit (10) für optimale Steuersignale aufweist, deren Ausgang (11) mit Eingängen des Digital-Analog-Umsetzers (8) und deren Eingänge mit entsprechenden Ausgängen einer Zeitschaltuhr (12) und des Last- und des Drehzahlgebers (6 bzw. 7) für den Bohrmeißel verbunden sind,

- ein mit der elektronischen Recheneinrichtung verbundenes Kontrollgerät (24) für Werte der Faktoren des adaptiven Modells und

- eine mit dem Steuerpult (9) und der elektronischen Recheneinrichtung in Wechselwirkung stehende Zeitschaltuhr (12) enthält, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

daß sie eine Einheit (15) für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit aufweist, deren Eingänge mit dem Bohrgeschwindigkeitsgeber (5) und mit einem Ausgang der Zeitschaltuhr (12) verbunden sind, während die elektronische Recheneinrichtung

- eine Einheit (16) für eine sukzessive Dateneingabe vom Steuerpult (9), deren Eingänge mit dem Pult (9) gekoppelt sind,

- eine Einheit (17) zur Ermittlung ergänzter Werte der Faktoren des adaptiven Modells, deren Eingänge mit dem Ausgang (18) der Einheit (15) für eine diskrete Mittelung und mit den Ausgängen (19) der Einheit (16) für eine sukzessive Dateneingabe verbunden sind,

- eine erste Speichereinrichtung (20), deren Eingänge mit den Ausgängen (22) der Einheit (17) zur Ermittlung ergänzter Faktorengrößen und deren Ausgänge (23) mit Eingängen der letzteren und mit Eingängen des Kontrollgeräts (24) für Faktorengrößen des adaptiven Modells gekoppelt sind,

- eine zweite Speichereinrichtung (21), deren Eingänge über eine Datenübertragungseinheit (25) mit den entsprechenden Ausgängen (23) der ersten Speichereinrichtung (20) verbunden sind,

- eine Formierungseinheit (26) für Bohrbetrieb, deren Eingänge mit Ausgängen (27) des Kontrollgeräts (24) für Faktorengrößen und deren Ausgang (28) mit einem Eingang der Datenübertragungseinheit (25) verbunden sind, und

- eine Korrektioneinheit (29) für Faktoren des adaptiven Modells enthält, deren Eingänge mit den Ausgängen (30)



der zweiten Speichereinrichtung (21) und mit einem Ausgang (31) der Formierungseinheit (26) für Bohrbetrieb und deren Ausgänge (32) mit entsprechenden Eingängen der Formierungseinheit (10) für optimale Steuersignale verbunden sind.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t, daß bei dieser die Formierungseinheit (10) für optimale Steuersignale

- eine Einheit (36) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, deren eine Gruppe von Eingängen mit den Ausgängen der Zeitschaltuhr (12) und des Last- und des Drehzahlgebers für den Bohrmeißel (6 bzw. 7) und deren andere Gruppe von Eingängen mit dem Steuerpult (9) verbunden ist,

- eine Recheneinheit (37) für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze, deren Eingänge mit einem Ausgang (41) der Einheit (36) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, mit einem Ausgang der Zeitschaltuhr (12) und mit dem Steuerpult (9) sowie mit den Ausgängen (32) der Korrektioneinheit (29) für Faktoren und mit einem Ausgang des Kontrollgeräts (24) für Faktorengrößen verbunden sind,

- eine Recheneinheit (38) für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung, deren Eingänge mit einem Ausgang (42) der Einheit (36) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, mit einem Ausgang des Steuerpultes (9) sowie mit den Ausgängen (32) der Korrektioneinheit (29) für Faktoren und mit einem Ausgang des Kontrollgeräts (24) für

Faktorengroßen gekoppelt sind, und

- eine Kommutationsschaltung (39) aufweist, die zwei Gruppen (43 und 44) von Schaltelementen, deren jede mit den Ausgängen (45 bzw. 46) der Recheneinheiten (37 bzw. 38) für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze bzw. nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung und über eine entsprechende UND-Schaltung (47, 48) mit einem jeweiligen Ausgang der Einheit (36) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels und mit der Zeitschaltuhr (12) gekoppelt ist, und zwei Summierungs-elemente (49, 50) enthält, deren Eingänge je mit den Ausgängen der beiden Gruppen (43, 44) von Schaltelementen verbunden sind, während die Ausgänge (51, 52) dieser Summierungs-elemente (49, 50) als Ausgänge der Formierungseinheit (10) für optimale Steuersignale fungieren, an denen Steuersignale zur Steuerung der Stellmechanismen (4) des Bohrwerkzeuges (3) erzeugt werden.

9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß bei dieser das Kontrollgerät (24) für Faktorengroßen des adaptiven Modells

- eine Funktionsschaltung (53) zur Potenzierung, deren Eingänge an den Drehzahlgeber (7) für den Bohrmeißel und an einen entsprechenden Ausgang (23) der ersten Speichereinrichtung (20) angeschlossen sind,

- eine erste Multiplikationsschaltung (54), deren Eingänge mit dem Lastgeber (6) für den Bohrmeißel und mit einem entsprechenden Ausgang (23) der ersten Speichereinrichtung (20) verbunden sind,

- eine zweite Multiplikationsschaltung (55) für Signale,

deren Eingänge mit dem Ausgang (60) der ersten Multiplikationsschaltung (54) und mit dem Ausgang (61) der Funktionsschaltung (53) zur Potenzierung gekoppelt sind,

- eine Divisionsschaltung (57), deren einer Eingang mit dem Ausgang (62) der zweiten Multiplikationsschaltung (55) und deren Ausgang mit einem entsprechenden Eingang der Einheit (17) zur Ermittlung ergänzter Faktorengrößen verbunden ist,

- einen Summator (59), dessen Ausgang (63) mit dem zweiten Eingang der Divisionsschaltung (57), <sup>(dessen</sup> einer Eingang über einen variablen Widerstand (67) mit einer Vorspannungsquelle (68) und <sup>dessen)</sup> anderer Eingang über eine dritte Multiplikationsschaltung (56) mit einem entsprechenden Ausgang (33) der Formierungseinheit (10) für optimale Steuersignale verbunden ist,

- einen Komparator (58), dessen einer Eingang mit dem Ausgang (72) der Divisionsschaltung (57), <sup>dessen)</sup> anderer Eingang mit dem Ausgang (18) der Einheit (15) für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit gekoppelt ist und

- einen Schaltkreis (74), dessen Eingang mit dem Ausgang (73) des Komparators (58) und <sup>dessen)</sup> Ausgang mit einem entsprechenden Eingang der Formierungseinheit (26) für Bohrbetriebe verbunden ist, enthält.

10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß in dieser die Einheit (16) für eine sukzessive Dateneingabe vom Steuerpult (9) eine Gruppe (77, 78) elektronischer Schalter, deren Eingänge mit je einem entsprechen-

den Kodeumschalter (79) des Steuerpultes (9) und deren Steuereingänge (80) mit je einem entsprechenden Ausschalter (81) verbunden sind, und Kodeumsetzer (75, 76) zur Erhaltung eines analogen Signals, die mit entsprechenden elektronischen Schaltern gekoppelt sind, enthält.

11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß bei dieser die Korrektioneinheit (29) für Faktoren des adaptiven Modells eine Gruppe (82) elektronischer Schalter enthält, die einen vereinigten Steuereingang (83) aufweisen und am Eingang eines Formers (84, 85) für einen Korrektionswert liegen, der eine Speicherschaltung für ein Signal und eine Folgeschaltung für ein Signal aufweist, deren Ausgänge als Ausgänge der gesamten Korrektioneinheit (29) für Faktoren des adaptiven Modells fungieren.

12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß in dieser die Einheit (17) zur Ermittlung ergänzter Faktorengößen des adaptiven Modells eine Schaltung (90) zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors und eine mit dieser gekoppelte Schaltung (92) zur Ergänzung eines der Bohrmeißeldrehzahl entsprechenden Faktors, deren Eingänge je mit den Ausgängen der Einheit (16) für eine sukzessive Dateneingabe und der ersten Speichereinrichtung (20), von denen Signale über Faktorengößen des adaptiven Modells im vorhergehenden Takt eintreffen, sowie mit den Ausgängen der Einheit (15)

für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit und des Kontrollgeräts (24) für Faktorengrößen verbunden sind, enthält.

13. Einrichtung nach einem beliebigen der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei dieser die Einheit (15) für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit eine Vergleichs- und Leseschaltung (193) für ein der Bohrgeschwindigkeit entsprechendes Signal unter Benutzung seiner Umhüllenden, an deren Ausgang ein elektronisches Schaltelement (194) angeschlossen ist, dessen Steuereingang mit einem Ausgang (195) der Zeitschaltuhr (12) verbunden ist und das am Ausgang ein gemittelten Wert der Bohrgeschwindigkeit entsprechendes Signal formt.

14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß in dieser die Formierungseinheit (26) für Bohrbetrieb eine ODER-Schaltung (205), deren Eingänge als Eingänge der gesamten Einheit (26) wirken und an entsprechende Ausgänge (27) des Kontrollgeräts (24) für Faktorengrößen des adaptiven Modells angeschlossen sind, eine erste UND-Schaltung (206), deren Eingänge mit entsprechenden Ausgängen (27) des Kontrollgeräts (24) für Faktorengrößen gekoppelt sind, und eine zweite UND-Schaltung (207) enthält, deren einer Eingang mit einem der Eingänge der ODER-Schaltung (205) vereinigt und anderer Eingang mit einem Ausgang der ersten UND-Schaltung (206) verbunden ist, während die Ausgänge der ODER-Schaltung (205) und der zweiten UND-Schaltung

(207) als Ausgänge der gesamten Formierungseinheit (26) dienen.

15. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß in dieser die Datenübertragungseinheit (25) einen Satz (208) von Schaltelementen darstellt, die für Einschreiben ergänzter Faktorengrößen des adaptiven Modells in die zweite Speichereinrichtung (21) sorgen.

16. Einrichtung nach Anspruch 8

bzw. einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei dieser die Recheneinheit (37) für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze einen Optimisator (210) und einen an einen seiner Eingänge angeschlossenen Formierungskreis (211) für den laufenden Stützenverschleiß enthält, dessen Eingänge mit der Zeitschaltuhr (12) und mit einem Ausgang (41) der Einheit (36) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels verbunden sind, während am Ausgang des Optimisators (210) Signale geformt werden, die den optimalen Einstellwerten für eine Bohrmeißelbelastung und -drehzahl in Übereinstimmung mit dem laufenden Verschleiß der Bohrmeißelstütze entsprechen.

17. Einrichtung nach Anspruch 8

bzw. einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß in dieser die Recheneinheit (38) für optimale Einstellwerte bei einer Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner

Ausrüstung einen Formierungskreis (211) für einen laufenden Verschleiß der Bohrmeißelausrüstung, dessen Eingänge an die Zeitschaltuhr (12) und an einen Ausgang (41) der Einheit (36) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels angeschlossen sind, und einen Optimisator (210) enthält, der an den Ausgang des Formierungskreises (211) für den laufenden Verschleiß der Bohrmeißelausrüstung angeschlossen ist und an dessen Ausgang (46) Signale geformt werden, die den optimalen Einstellwerten für eine Bohrmeißelbelastung und -drehzahl in Übereinstimmung mit dem laufenden Verschleiß der Bohrmeißelausrüstung entsprechen.

18. Einrichtung nach Anspruch 9

bzw. einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß bei dieser die Einheit (36) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels zweikanalig ausgeführt und jeder Kanal an einen Eingang eines eigenen Schaltkreises (221, 222) angeschlossen ist, während der andere Eingang eines jeden der Kanäle mit der Zeitschaltuhr (12) verbunden ist, wobei der erste Kanal

- einen Divisor (223), dessen Eingänge mit dem Drehzahlgeber (7) für den Bohrmeißel und mit dem Steuerpult (9) verbunden sind,

- ein mit dem Lastgeber (6) für den Bohrmeißel gekoppeltes nichtlineares Element (224) und

- eine erste Multiplikationsschaltung (225), deren Eingänge an die Ausgänge des Divisors (223) und des nicht-

linearen Elementes (224) und deren Ausgänge an den Eingang des Schaltkreises (221) dieses Kanals angeschlossen sind, und der zweite Kanal

- eine Reihenschaltung aus zwei Multiplikatoren (227, 228) enthält, von denen der erste (227) über die beiden Eingänge und der zweite (228) über einen Eingang mit dem Drehzahlgeber (7) für den Bohrmeißel verbunden ist, während der Ausgang des zweiten Multiplikators (228) über einen ersten Summator (229), dessen zweiter Eingang mit dem Drehzahlgeber (7) gekoppelt ist, und über eine an den Ausgang des ersten Summators (229) angeschlossene zweite Multiplikationsschaltung (230) an einen ersten Eingang eines zweiten Divisors (231) angeschlossen ist,

- an den anderen Eingang des zweiten Divisors (231) über eine dritte Multiplikationsschaltung (234)

- ein zweiter Summator (233),

- dessen einer Eingang mit dem Steuerpult (9) und

- zweiter Eingang mit dem Ausgang einer vierten Multiplikationsschaltung (232) verbunden ist,

- deren Eingänge mit dem Lastgeber (6) für den Bohrmeißel und mit dem Steuerpult (9) gekoppelt sind, und

- ein dritter Summator (236) angeschlossen ist,

- dessen einem Eingang eine Vorspannung zugeführt wird und

- dessen anderer Eingang an den Ausgang einer fünften Multiplikationsschaltung (235) angeschlossen ist, deren Eingänge mit dem Steuerpult (9) und mit der Recheneinheit (38) für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des



Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung gekoppelt sind, wobei der zweite Eingang der zweiten Multiplikationsschaltung (230) mit dem Steuerpult (9) verbunden ist.

19. Einrichtung nach Anspruch 12

- bzw. einem der Ansprüche 8 bis 11 und 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schaltung (90) zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors enthält:

- eine erste Logarithmierungsschaltung (94), deren Eingang an den Ausgang (23) der ersten Speichereinrichtung (20) angeschlossen ist,

- eine zweite Logarithmierungsschaltung (96), deren Eingang an den Ausgang (18) der Einheit (15) für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit angeschlossen ist,

- eine dritte Logarithmierungsschaltung (95), deren Eingang an einen Ausgang (93) des Kontrollgeräts (24) für Werte der Faktoren angeschlossen ist,

- eine vierte Logarithmierungsschaltung (97), deren Eingang an den Ausgang (14) des Drehzahlgebers (7) für den Bohrmeißel angeschlossen ist,

- einen ersten Summator (98), an dessen ersten Eingang über eine erste Multiplikationsschaltung (114) die erste Logarithmierungsschaltung (94) angeschlossen ist,

- einen zweiten Summator (99), an dessen Eingänge die zweite und die dritte Logarithmierungsschaltungen (96 bzw. 95) angeschlossen sind,

- einen Schaltkreis (119), dessen Eingang mit dem Ausgang des zweiten Summators (99) verbunden, <sup>dessen</sup> ~~einer~~ Ausgang über einen Inverter (103) und <sup>dessen</sup> ~~anderer~~ Ausgang unmittelbar an die Eingänge des ersten Summators (98) angeschlossen ist,
- einen dritten Summator (100), an dessen ersten Eingang über eine zweite Multiplikationsschaltung (116) die vierte Logarithmierungsschaltung (97) angeschlossen ist,
- einen Divisor (118), dessen erster Eingang mit dem dritten Summator (100), <sup>dessen</sup> ~~zweiter~~ Eingang über eine dritte Multiplikationsschaltung (115) an den Ausgang (120) der ersten Logarithmierungsschaltung (94) und dessen Ausgang (121) an einen Eingang des Schaltkreises (119) angeschlossen ist, wobei
  - der zweite Eingang der dritten Multiplikationsschaltung (115) mit dem Ausgang (120) der ersten Logarithmierungsschaltung (94) verbunden ist,
  - der zweite Eingang des dritten Summators (100) über eine vierte Multiplikationsschaltung (117) mit dem Ausgang (120) der ersten Logarithmierungsschaltung (94) verbunden ist,
  - der Ausgang des ersten Summators (98) mit dem Eingang einer Antilogarithmierungsschaltung (122) verbunden ist
  - und der Ausgang der Antilogarithmierungsschaltung (122) als Ausgang der gesamten Ergänzungsschaltung (90) eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteins im Bohrverfahren entsprechenden Faktors auftritt.

20. Einrichtung nach Anspruch 12 bzw. einem  
der Ansprüche 8 bis 11 und <sup>(sie in</sup>  
13 bis 19, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß  
eine <sup>r</sup>Schaltung (92) zur Ergänzung eines der Drehzahl des  
Bohrmeißels entsprechenden Faktors enthält;

- einen ersten Summator (170), dessen einer Eingang mit dem Ausgang (23) der ersten Speichereinrichtung (20) verbunden ist,

- eine erste an einen Ausgang (93) des Kontrollgeräts (24) für Faktorengrößen angeschlossene Logarithmierungsschaltung (166),

- eine zweite an den Ausgang (18) der Einheit (15) für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit angeschlossene Logarithmierungsschaltung (167),

- eine dritte an den Drehzahlgeber (7) für den Bohrmeißel angeschlossene Logarithmierungsschaltung (168) und

- eine vierte an einen Ausgang (91) der Schaltung (90) zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors angeschlossene Logarithmierungsschaltung (169),

- einen zweiten Summator (171), an dessen Eingänge die Ausgänge der ersten und der zweiten Logarithmierungsschaltung (166 bzw. 167) angeschlossen sind,

- einen Schaltkreis (185), an dessen Eingang der Ausgang des zweiten Summators (171) <sup>dessen</sup>angeschlossen und dessen einer Ausgang unmittelbar und <sup>(anderer</sup>Ausgang über einen Inverter (189) mit den anderen Eingängen des ersten Summators (170) verbunden ist,

- einen Divisor (192), an dessen ersten Eingang die dritte Logarithmierungsschaltung (168) über eine erste Multiplikationsschaltung (186), an dessen zweiten Eingang die gleiche dritte Logarithmierungsschaltung (168) über eine Reihenschaltung aus einer zweiten Multiplikationsschaltung (187) und einen dritten Summator (172) angeschlossen ist, während der Ausgang des Divisors (192) an den zweiten Eingang des Schaltkreises (185) angeschlossen ist,

- eine dritte Multiplikationsschaltung (188), deren Eingänge mit dem Ausgang der vierten Logarithmierungsschaltung (169) und deren Ausgang an den zweiten Eingang des dritten Summators (172) angeschlossen ist,

- wobei der zweite Eingang der ersten Multiplikationsschaltung (186) an den Ausgang des zweiten Summators (171) angeschlossen ist und

- der Ausgang des ersten Summators (170) als Ausgang der gesamten Schaltung (92) zur Ergänzung der Faktoren dient.

## B e s c h r e i b u n g

Die Erfindung betrifft die Bohrtechnik und insbesondere Steuerungsmethoden und Einrichtungen für ein Bohrverfahren.

Die Erfindung kann beim Bohren, beispielsweise beim Erdöl- und Erdgasbohren, angewendet werden.

Die mechanische Gesteinzerstörung, beispielsweise beim Erdöl- und Erdgasbohren, ist mit der Notwendigkeit verbunden,

Steuersignale (Belastungen eines das Gestein zerstörenden Werkzeuges - eines Bohrmeißels - und seine Drehzahl) in Abhängigkeit vom lithologischen Typ des zu bohrenden Gesteines (Härte, Abrasivität, Plastizität) und anderen konkreten Bedingungen, unter denen der Arbeitsablauf sich vollzieht, vorzugeben. Ein Teil von das Bohrverfahren beeinflussenden Faktoren kann für die Zeit eines Meißelmarsches (Lebensdauer eines Bohrmeißels) als gleichbleibend gesetzt werden, die anderen ändern sich im Laufe des Meißelmarsches, wobei, wenn die Tendenzen für einen Verschleiß von Bohrmeißelstützen und -ausrüstung (-schneiden) in der Zeit offensichtlich sind, eine Zerstörung der Homogenität und der anderen lithologischen Eigenschaften des Gesteines unberechenbar ist. Praktisch steht die Auffindung von Steuersignalen im Zusammenhang mit einer laufenden Überwachung des Verfahrens und wird durch den laufenden Zustand des Bohrmeißels und des zu bohrenden Gesteines unabhängig vom Bohrverfahren (Turbo-, Rotary-, Elektrobohren) festgelegt. Hierbei gibt es keine direkten Kontrollverfahren für einen Meißelverschleiß und eine Änderung der Eigenschaften des Gesteines.

Es sind verschiedene Steuerungsmethoden und -einrichtungen für ein Bohrverfahren bekannt, die nichtautomatisierte und automatisierte Systeme bilden können.

In den nichtautomatisierten Systemen erfolgt die Auswahl der Steuersignale auf der Basis früherer Erfahrungen unmittelbar durch einen Operateur (Bohrarbeiter). Durchschnittlich erweist sich die Bohrleistung bei einer solchen Steuerung um 25 bis 30 % unterhalb der optimalen (s. beispielsweise A.A. Pogarskij "Automatisierung des Bohrverfahrens für Tiefbohrungen", "Nedra", 1972).

Derartige nichtautomatisierte Systeme werden zur Zeit viel häufiger als die automatischen benutzt.

In den automatisierten Systemen wird zur Formierung der Steuersignale ein adaptives Modell des Arbeitsablaufes benutzt. Die Parameter des Bohrmeißels und die Information über die übrigen für einen Meißelmarsch konstanten Faktoren werden in das adaptive Modell vor Beginn des Meißelmarsches vom Steuerpult eingegeben. Die Parameter des zu bohrenden Gesteines, die vor Beginn der Bohrarbeit unbekannt (oder annähernd bekannt) sind, werden im Laufe des technologischen Bohrvorganges ermittelt. Hierbei wird die Zeit des Meißelmarsches in zwei Perioden - die Zeit einer Erprobung des Gesteines (Ergänzung von Modellparametern) mit anschließender Bestimmung optimaler Steuersignale und die Bohrzeit unter günstigen Bedingungen unterteilt. Die Dauer der Erprobung bestimmt die Zeit einer unrationellen Benutzung des Werkzeuges, und bei einer Tiefbohrung wirkt sie sich beträchtlich auf die Leistung aus, weil mit stei-

gender Bohrlochtiefe die Bohrdauer unter Benutzung eines Bohrmeißels (Meißelmarsch) sprunghaft abnimmt. Darüber hinaus ist ein häufiger Wechsel der lithografischen Eigenschaften des Gesteines möglich, bei dem das System zum Bohrversuch mehrmals für einen Kernmarsch (beim Bearbeiten mit dem Meißel)  $\langle \rangle$  (unbedingt) zurückkehren muß. Die rationelle Ausnutzung der Betriebsdauer des Bohrmeißels durch Vervollkommnung der Steuerungsmethoden und -einrichtungen ist eine der Voraussetzungen der Leistungssteigerung der Bohranlagen für eine Tief- und Ultratiefbohrung bei einem beliebigen Bohrverfahren.

In den bekannten automatisierten Steuerungssystemen für ein Bohrwerkzeug wird eine Kopplung des Operateurs mit dem Bohrvorgang über eine Elektronenrechenmaschine (s. beispielsweise Kennedy J.L. "Data monitoring on today's rig", "Oil and Gas Journal", 1973, v. 71, N. 39, p. 119 bis 120, 125 bis 126) vorausgesetzt.

Diese Systeme arbeiten in keinem Echtzeitbetrieb und sehen keine operative Beurteilung der technologischen Situation vor.

In einem solchen System wird die Information von den am Bohrturm angeordneten Gebern aus der analogen in eine digitale Form umgesetzt, in einen Lochstreifen gelocht und über einen Fernschreiber in ein Rechenzentrum übertragen, wo die Rechenmaschine zur Bedienung des betreffenden Bohrturmes periodisch herangezogen und die Information zwecks Korrektur von Bohrprogrammen analysiert wird. Die Rechenergebnisse werden über den Fernschreiber auf den Bohrturm

übertragen und durch den Bohrarbeiter zu einer manuellen Steuerung der Antriebe der wichtigsten Stellmechanismen ausgenutzt. Eine aktive Informationssuche und eine operative Ausnutzung ihrer Ergebnisse sind also unmöglich. In derartigen automatisiertem Steuerungssystem für ein Bohrwerkzeug kann ein Optimierungsverfahren für einen Bohrbetrieb nach einem Kriterium für Minimalkosten eines Meters Bohrfortschritt (s. beispielsweise "Well-site analysis handed for economy new capabilities", "Oil and Gas Journal", 1973, v. 71, N. 39, p. 132, 134, 136, 141) benutzt werden.

In den genannten Systemen sind die aktive Informationssuche und deren operative Ausnutzung gleichfalls unmöglich, was zu einer Erhöhung der Bohrzeit für <sup>die</sup> Bohrlöcher führt und also keine hohe Leistung eines Bohrwerkzeuges gewährleistet.

Es ist eine Steuerungsmethode für ein Bohrverfahren bekannt, der die Ausnutzung eines adaptiven Modells für das Bohrverfahren zugrunde liegt, mit dessen Hilfe auf das Bohrwerkzeug einwirkende Steuersignale geformt werden. Die Methode besteht in der Verwendung zweier Steuerungsmethoden: aus einem Bohrversuch für eine zu bohrende Gesteinsplatte und dem eigentlichen Bohrbetrieb.

Im Mehrtakt-Bohrversuch werden bei jedem Takt Werte für eine Bohrmeißelbelastung und -drehzahl vorgegeben, eine diesen Vorgabewerten entsprechende mechanische Bohrgeschwindigkeit gemessen und nach Beendigung des Taktes an den entsprechenden Stellmechanismen für den nachfolgenden Takt ein-



treffende Steuersignale geformt. Nach den Ergebnissen des Bohrversuches werden Steuersignale für den eigentlichen Bohrbetrieb formiert. Wenn im letzten Betrieb die Werte der Kontrollparameter, als welche die Bohrmeißelbelastung und -drehzahl auftreten, von den Sollwerten abweichen, so wird vom eigentlichen Bohrbetrieb zum Bohrversuch (s. beispielsweise Young F.S. "Computerized drilling control", "Journal of petroleum technology", April, 1969) übergegangen.

Die bekannte Methode beruht auf der Lösung einer Gleichung für die Kosten eines Meters Bohrfortschritt zwecks Auffindung von Steuersignalen, die eine Minimierung dieser Kosten bewirken. Hierbei dient als Grundlage zur Erhaltung der genannten Gleichung der folgende Ausdruck für die Bohrgeschwindigkeit:

$$V = \frac{k (P - P_0) n^\lambda}{I + C_2 H} \quad (I)$$

Darin bezeichnet:

- v Bohrgeschwindigkeit
- P Bohrmeißelbelastung beim Bohren
- P<sub>0</sub> für eine Bohrgeschwindigkeit 0 extrapolierte Bohrmeißelbelastung
- C<sub>2</sub> die Güte des Bohrmeißels kennzeichnender Faktor
- H vorgegebener Wert des Bohrmeißelverschleißes
- K Faktor für die Bohrbarkeit des Gesteines
- n Bohrmeißeldrehzahl
- λ eine Beeinflussung der Bohrgeschwindigkeit durch die Bohrmeißeldrehzahl bestimmender Faktor

Zur Bestimmung der sich im Bohrvorgang ändernden Größen von  $k$  und  $\lambda$  wird von einem Standardprogramm zur Erprobung, "Fünf-Punkte-Methode" genannt, Gebrauch gemacht. Das Wesen dieser Methode besteht in folgendem. Im ersten Takt der Erprobung gibt man wahlfreie Werte  $P$  und  $n$  vor und fixiert mit Hilfe einer Speichereinrichtung ein ihnen entsprechende  $v$ , worauf man, indem man die Werte  $P$  und  $n$  abwechselnd ändert (vergrößert und verringert), noch vier Takte der Erprobung verwirklicht und in jedem Takt die Bohrgeschwindigkeit fixiert.

Danach wird der sechste Takt der Erprobung verwirklicht, bei dem die gleichen Werte von  $P$  und  $n$  wie im ersten Takt vorgegeben werden, es gibt also im ganzen fünf Punkte für  $P$  und  $n$ .

Erweist sich hierbei die Bohrgeschwindigkeit  $v$  im sechsten Takt als die gleiche wie im ersten Takt, so wird der Bohrversuch damit als beendet erachtet. Ferner werden, indem die Gleichung (I) unter Berücksichtigung der in der Speichereinrichtung festgehaltenen Meßergebnisse aufgelöst wird, die Faktoren  $k$  und  $\lambda$  des adaptiven Modells errechnet und korrigiert, die korrigierten Faktoren in das adaptive Modell eingesetzt und für die gegebenen Bohrbedingungen optimale Steuersignale berechnet, die den Stellmechanismen des Bohrwerkzeuges zugeführt werden, und es wird zum eigentlichen Bohrbetrieb übergegangen. Wenn aber im sechsten Takt die Bohrgeschwindigkeit nicht mit derjenigen zusammenfällt, die im ersten Takt genommen war, wird erneut ein Bohrversuch durchgeführt.

Der Bohrbetrieb mit den erhaltenen Steuersignalen wird so lange fortgesetzt, bis die gemessene Bohrgeschwindigkeit nur geringfügig vom Rechenwert abweicht. Bei einer Abweichung der Bohrgeschwindigkeit vom Rechenwert wird < > zum Bohrversuch (erneut) übergegangen.

Die die obengenannte Methode realisierende Einrichtung enthält ein Steuerpult für das Bohrverfahren, das über einen Digital-Analog-Umsetzer für Signale mit den Stellmechanismen des Bohrwerkzeuges in Wechselwirkung steht. Die Einrichtung weist eine elektronische Recheneinrichtung auf, in die das adaptive Modell für den Bohrvorgang <sup>(eingegeben)</sup> ist und die eine Formierungseinheit für Steuersignale beim Bohrversuch und eine Formierungseinheit für optimale Steuersignale enthält, deren Ausgänge mit den Eingängen des Digital-Analog-Umsetzers und deren Eingänge mit entsprechenden Ausgängen der Geber, Speichereinrichtung und der Zeitschaltuhr verbunden sind.

An die elektronische Recheneinrichtung sind ein Geber für mechanische Bohrgeschwindigkeit, ein Lastgeber für den Bohrmeißel und ein Drehzahlgeber für den Bohrmeißel angeschlossen; außerdem ist daran ein Kontrollgerät für Werte der Faktoren des adaptiven Modells (s. beispielsweise Young F.S. "Computerized drilling control", "Journal of petroleum technology", April, 1969) angeschlossen.

Vom Steuerpult werden in das adaptive Modell Ausgangswerte der Faktoren und Anfangswerte der Steuersignale eingegeben sowie ein Befehl zum Anfang des Bohrversuches erteilt.

Die Befehle zum Übergang von einem zum anderen Takt

der Erprobung werden durch die Zeitschaltuhr programmgemäß erteilt, während die Steuersignale hierbei durch die Formierungseinheit für Steuersignale im Bohrversuch erzeugt werden. Nach Beendigung des Bohrversuchs werden die korrigierten Werte der Faktoren in das adaptive Modell eingesetzt, wo den Stellmechanismen zuzuführende optimale Steuersignale erzeugt werden.

Der Hauptmangel der betrachteten bekannten Methode und der Einrichtung zu deren Verwirklichung ist der, daß das System in festen Zeitabständen verschiedene Änderungen einer Kombination von Vorgaben für eine Bohrmeißelbelastung und -drehzahl in Übereinstimmung mit einer vorgegebenen apriori-Reihenfolge für ihre Ausführung verwirklicht und in der Regel daher bei keinem der sechs Takte der Erprobung eine optimale Kombination der Steuersignale erzielt wird. Wenn in einem der Takte die Parameterkombination zufällig in die Nähe der optimalen geraten ist, kann das bekannte Steuerungssystem auch das "nicht fühlen" und <sup>(wird</sup> in Fortsetzung des vorgegebenen Programms der Erprobung das Verhalten zu einer nicht optimalen Zone hin lenken. Da jeder der sechs Takte der Erprobung bis zu zehn Minuten dauert, währt der Bohrversuch im ganzen recht lange, und im Verlaufe dieser Zeit arbeitet der Bohrmeißel unter ungünstigen Bedingungen. Im Zusammenhang mit der langen Dauer des Bohrversuchs ist es durchaus wahrscheinlich, daß gegen den letzten Takt eine Änderung der Eigenschaften des zu bohrenden Gesteines eintritt, und <sup>(daß</sup> dies zu einem aus sechs Takten be-

stehenden erneuten Bohrversuch zwingt, was die negative Auswirkung des genannten Mangels noch mehr verstärkt.

Der zweite wesentliche Mangel ist der, daß nach dem Übergang zum Bohrbetrieb die Steuersignale zur Vorgabe von P und n konstant bleiben, während dabei selbst bei unveränderlichen Eigenschaften des zu bohrenden Gesteines der Unterschied zwischen dem tatsächlichen Wert dieser Signale und deren optimalem Wert langsam zunimmt, weil sich die optimalen Werte selbst in dem Maße des natürlichen Bohrmeißelverschleißes ändern. Aus dem genannten Mangel folgt, daß die gemessene Bohrgeschwindigkeit verhältnismäßig schnell vom Rechenwert abweicht, was zu einer Wiederholung des Bohrversuches mit den ihm eigenen obenerwähnten Nachteilen führt.

Infolge der genannten Nachteile gestattet die bekannte technische Lösung es, nur bei einer Dauerbohrung an ein und derselben Gesteinsplatte optimale Steuersignale zu erhalten, und sichert keine wirksame Arbeit des Bohrwerkzeuges wegen Dauerbohrung unter Benutzung unrationeller Betriebsarten unter Verhältnissen einer häufigen Änderung der Eigenschaften der zu bohrenden Gesteine im Meißelmarsch, was sich besonders stark auf eine Tiefbohrung wegen einer begrenzten Betriebsdauer des Bohrmeißels auswirkt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Steuerungsmethode und Einrichtung für ein Bohrverfahren zu schaffen, die es gestatten, durch Änderung des Steuerungs-

prinzips die Bohrzeit für Bohrlöcher bei ungünstigen Werten der Steuersignale zu kürzen, und die Leistung des Bohrwerkzeuges ansteig<sup>en zu lassen</sup>, was bei einer Tiefbohrung besonders wichtig ist.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Steuerungsmethode für die Bohrverfahren, der ein adaptives Modell für ein Bohrverfahren zugrunde liegt, darin bestehend, daß sie sich aus zwei Steuerungsmethoden zusammensetzt, von denen eine einen Bohrversuch für eine zu bohrende Gesteinsplatte und die andere den eigentlichen Bohrbetrieb darstellt, wobei im üblichen Mehrtakt-Bohrversuch für eine Gesteinsplatte bei jedem Takt Werte für gesteuerte Parameter des Bohrverfahrens vorgegeben, eine den Vorgabewerten der gesteuerten Parameter entsprechende Bohrgeschwindigkeit gemessen und nach Beendigung des letzten Taktes an entsprechenden Stellmechanismen des Bohrwerkzeuges ankommende Steuersignale geformt, nach den Ergebnissen des Bohrversuches im eigentlichen Bohrbetrieb verwendete Steuersignale und ein Signal für einen Übergang vom Bohrversuch zum eigentlichen Bohrbetrieb geformt und bei einer Abweichung zu überwachender Parameter des Bohrverfahrens von den Sollwerten vom eigentlichen Bohrbetrieb zur Wiederholung des Bohrversuches übergegangen wird, gemäß der Erfindung

vorsieht, daß im ersten Takt des Bohrversuches nach den Vorgabewerten der gesteuerten Parameter und nach den angenommenen Nährungswerten zu ergänzender Faktoren des adaptiven Modells eine Bohrgeschwindigkeit ermittelt,

diese Bohrgeschwindigkeit mit einem im gegebenen Takt gemessenen Wert der gleichen Geschwindigkeit verglichen und nach den Ergebnissen des Vergleiches korrigierte Größen der entsprechenden Faktoren des adaptiven Modells formiert, unter deren Berücksichtigung die <sup>kommenden</sup> den Optimalwerten am nächsten Werte der Steuersignale, die als Einstellwerte für eine Einwirkung auf einen Bohrmeißel im nächsten Takt des Bohrversuches wirken, ermittelt und in jedem nachfolgenden Takt bei der Bestimmung der Steuersignale die ergänzten Faktoren des vorangegangenen Taktes ausgenutzt werden, wobei bei einem Übergang zu jedem nachfolgenden Takt die Werte der zu bestimmenden Steuersignale an die Optimalwerte unter den gegebenen Bohrbedingungen angenähert werden und bei einer Koinzidenz der gemessenen und der zu bestimmenden Bohrgeschwindigkeit in zwei aufeinanderfolgenden Takten ein während dieser Takte geformtes Steuersignal als im eigentlichen Bohrbetrieb benutztes Steuersignal dient.

Das adaptive Modell des Bohrvorganges kann ausgehend von folgendem Gleichungssystem:

$$\ln v(N) = \sum_{i=1}^1 k_i(N) \ln x_i + \sum_{j=1}^m x_j \ln k_j(N)$$

aufgebaut werden, wobei

$N$  eine Taktnummer,

$v(N)$  einen Rechenwert für die Bohrgeschwindigkeit im  $N$ -ten Takt,

$k_i, k_j$  den gesteuerten Parametern entsprechende zu ergänzende Faktoren des adaptiven Modells,

$x_1, x_j$  Werte der Steuerparameter und  
 $i, j$  Nummern der gesteuerten Parameter,  
 bezeichnen, wobei die korrigierten Größen der entsprechenden  
 Faktoren nach den Formeln:

$$k_1(N) = k_1(N-1) + \text{sign}[\ln v(N) - \ln v] \cdot \frac{\alpha \ln x_1}{\sum_{i=1}^1 (\ln x_1)^2 + \sum_{j=1}^m x_j^2}$$

$$k_j(N) = \exp \left\{ \ln k_j(N-1) + \text{sign}[\ln v(N) - \ln v] \cdot \frac{\alpha x_j}{\sum_{i=1}^1 (\ln x_1)^2 + \sum_{j=1}^m x_j^2} \right\}$$

bestimmt werden, wobei

- $v$  einen Meßwert der Bohrgeschwindigkeit und
- $\alpha$  einen Faktor, dessen Wert von einer Differenz aus dem Meß- und Rechenwert der Bohrgeschwindigkeit abhängig ist,

bezeichnet.

Es ist zweckmäßig, wenn die Steuersignale im eigentlichen Bohrbetrieb mit der Bohrzeit stufenweise geändert werden, wobei die Periodizität und der Änderungsgrad der Signale mit Hilfe des adaptiven Modells in der Weise ermittelt werden, daß die Signale nahe bei den Optimalwerten unter Berücksichtigung eines Verschleißes der Bohrmeißelausrüstung und -stützen im Bohrverfahren bleiben.

Zur Ergänzung der Faktoren des adaptiven Modells im eigentlichen Bohrbetrieb können diese Faktoren entsprechend den für konkrete Bohrbedingungen erhaltenen vorgegebenen Steuersignalen und Bohrgeschwindigkeitswerten ermittelt wer-



den.

Bei einer Änderung der Bedingungen für das Bohrverfahren ist es notwendig, vom eigentlichen Bohrbetrieb zu einem wiederholten Bohrversuch überzugehen, wobei die im Zeitmoment einer Beendigung des eigentlichen Bohrbetriebes erhaltenen Faktoren des adaptiven Modells als Ausgangsgrößen für die Faktoren des ersten Taktes des wiederholten Bohrversuches angenommen werden müssen.

Sehr zweckmäßig ist es, als gesteuerte Parameter Bohrmeißelbelastung und -drehzahl zu wählen.

Die Steuerungseinrichtung für ein Bohrverfahren, die ein Steuerpult für das Bohrverfahren, das über einen Digital-Analog-Umsetzer für Signale mit Stellmechanismen des Bohrwerkzeuges in Wechselwirkung steht, einen Bohrgeschwindigkeitsgeber, einen Lastgeber für den Bohrmeißel, einen Drehzahlgeber für den Bohrmeißel, eine elektronische Recheneinrichtung, in der das adaptive Modell des Bohrverfahrens enthalten ist, die mit dem Lastgeber und dem Drehzahlgeber für den Bohrmeißel sowie mit dem Bohrgeschwindigkeitsgeber und mit dem Steuerpult zusammenwirkt und eine Formierungseinheit für optimale Steuersignale aufweist, deren Ausgang mit Eingängen des Digital-Analog-Umsetzers und deren Eingänge mit entsprechenden Ausgängen einer Zeitschaltuhr und des Last- und des Drehzahlgebers für den Bohrmeißel verbunden sind, ein mit der elektronischen Recheneinrichtung verbundenes Kontrollgerät für Faktorengrößen des adaptiven Modells enthält, während die

Zeitschaltuhr auch mit dem Steuerpult und der elektronischen Recheneinrichtung in Wechselwirkung steht, <sup>weist</sup> gemäß der Erfindung eine Einheit für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit auf, deren Eingänge mit dem Bohrgeschwindigkeitgeber und mit einem Ausgang der Zeitschaltuhr verbunden sind, während die elektronische Recheneinrichtung eine Einheit für eine sukzessive Dateneingabe vom Steuerpult, deren Eingänge mit dem Pult gekoppelt sind, eine Einheit zur Ermittlung der Faktorengrößen des adaptiven Modells, deren Eingänge mit dem Ausgang der Einheit für eine diskrete Mittelung und mit den Ausgängen der Einheit für eine sukzessive Dateneingabe verbunden sind, eine erste Speichereinrichtung, deren Eingänge mit den Ausgängen der Einheit zur Ermittlung der Faktorengrößen und deren Ausgänge mit Eingängen der letzteren und mit Eingängen des Kontrollgeräts für Faktorengrößen des adaptiven Modells gekoppelt sind, eine zweite Speichereinrichtung, deren Eingänge über eine Datenübertragungseinheit mit den entsprechenden Ausgängen der ersten Speichereinrichtung verbunden sind, eine Formierungseinheit für Bohrbetrieb, deren Eingänge mit Ausgängen des Kontrollgeräts für Faktorengrößen und deren Ausgänge mit einem Eingang der Datenübertragungseinheit verbunden sind, und eine Korrektioneinheit für Faktoren des adaptiven Modells enthält, deren Eingänge mit den Ausgängen der zweiten Speichereinrichtung und mit einem Ausgang der Formierungseinheit für Bohrbetrieb und deren Ausgänge mit entsprechenden Eingängen der Formierungseinheit für optimale Steuersignale verbunden sind.

Die Formierungseinheit für optimale Steuersignale kann eine Einheit zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, deren eine Gruppe von Eingängen mit den Ausgängen der Zeitschaltuhr und des Last- und des Drehzahlgebers für den Bohrmeißel und deren andere Gruppe von Eingängen mit den Ausgängen des Steuerpultes verbunden ist, eine Recheneinheit für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze, deren Eingänge mit einem Ausgang der Einheit zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, mit einem Ausgang der Zeitschaltuhr und mit dem Steuerpult sowie mit den Ausgängen der Korrektioneinheit für Faktoren und mit einem Ausgang des Kontrollgeräts für Faktorengrößen verbunden sind, eine Recheneinheit für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung, deren Eingänge mit einem Ausgang der Einheit zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, mit einem Ausgang des Steuerpultes sowie mit den Ausgängen der Korrektioneinheit für Faktoren und mit einem Ausgang des Kontrollgeräts für Faktorengrößen gekoppelt sind, und eine Kommutationsschaltung aufweisen, die zwei Gruppen von Schaltelementen, deren jede mit den Ausgängen der Recheneinheiten für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze bzw. nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung und über eine entsprechende UND-Schaltung jeweils mit einem                   Ausgang der Einheit zur Bestimmung der

Abarbeitungsart des Bohrmeißels und mit der Zeitschaltuhr gekoppelt ist, und zwei Summierungs-elemente enthält, deren Eingänge je mit den Ausgängen der beiden Gruppen von Schaltelementen verbunden sind, während die Ausgänge dieser Summierungs-elemente als Ausgänge der Formierungseinheit für optimale Steuersignale fungieren, an denen Steuersignale zur Steuerung der Stellmechanismen des Bohrwerkzeuges erzeugt werden.

Zweckmäßig ist es, <sup>(wenn</sup> das Kontrollgerät für Faktorengrößen des adaptiven Modells eine Funktionsschaltung zur Potenzierung, deren Eingänge an den Drehzahlgeber für den Bohrmeißel und an einen entsprechenden Ausgang der ersten Speichereinrichtung angeschlossen sind, eine erste Multiplikationsschaltung für Signale, deren Eingänge mit dem Lastgeber für den Bohrmeißel und mit einem entsprechenden Ausgang der ersten Speichereinrichtung verbunden sind, eine zweite Multiplikationsschaltung für Signale, deren Eingänge mit dem Ausgang der ersten Multiplikationsschaltung und mit dem Ausgang der Funktionsschaltung zur Potenzierung gekoppelt sind, eine Divisionsschaltung, deren einer Eingang mit dem Ausgang der zweiten Multiplikationsschaltung und deren Ausgang mit einem entsprechenden Eingang der Einheit zur Ermittlung ergänzter Faktorengrößen verbunden ist, einen Summator, dessen Ausgang mit dem zweiten Eingang der Divisionsschaltung, dessen einer Eingang über einen variablen Widerstand mit einer Vorspannungsquelle und dessen anderer Eingang über eine dritte Multiplikationsschaltung mit einem entsprechenden Ausgang der Formierungseinheit für optimale Steuersignale verbunden ist, einen Komparator, dessen einer Eingang mit dem Ausgang der Divisionsschaltung

- 35 -

dessen anderer Eingang mit dem Ausgang der Einheit für eine diskrete Mitteilung der Bohrgeschwindigkeit gekoppelt ist und einen Schaltkreis, dessen Eingang mit dem Ausgang des Komparators und dessen Ausgang mit einem entsprechenden Eingang der Formierungseinheit für Bohrbetrieb verbunden ist, enthält.

Es ist vorteilhaft, wenn in der Einrichtung die Einheit für eine sukzessive Dateneingabe vom Steuerpult eine Gruppe elektronischer Schalter, deren Eingänge mit je einem entsprechenden Kodeumschalter des Steuerpultes und deren Steuereingänge mit je einem entsprechenden Ausschalter verbunden sind, und Kodeumsetzer zur Erhaltung eines analogen Signals, die mit entsprechenden elektronischen Schaltern gekoppelt sind, enthält, während die Korrektioneinheit für Faktoren des adaptiven Modells eine Gruppe elektronischer Schalter enthält, die einen vereinigten Steuereingang aufweisen und am Eingang eines Formers für einen Korrektionswert liegen, der eine Speicherschaltung für ein Signal und eine Folgeschaltung für ein Signal aufweist, deren Ausgänge als Ausgänge der gesamten Korrektioneinheit für Faktoren des adaptiven Modells fungieren.

Darüber hinaus kann die Einheit zur Ermittlung ergänzter Faktorengrößen des adaptiven Modells eine Schaltung zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors und eine mit dieser gekoppelte Schaltung zur Ergänzung eines der Drehzahl des Bohrmeißels entsprechenden Faktors enthalten, an deren Ein-

- 36 -

gängen je Signale über die Faktorengröße des adaptiven Modells im vorhergehenden Takt von der Einheit für eine sukzessive Dateneingabe und von der ersten Speichereinrichtung sowie von der Einheit für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit und vom Kontrollgerät für Werte der Faktoren eintreffen.

Die Einheit für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit kann eine Vergleichs- und Leseschaltung für ein der Bohrgeschwindigkeit entsprechendes Signal unter Benutzung seiner Umhüllenden, an deren Ausgang ein elektronisches Schaltelement angeschlossen ist, dessen Steuereingang mit einem Ausgang der Zeitschaltuhr verbunden ist und das am Ausgang ein Signal formiert, das eine Übertragung eines einem gemittelten Wert der Bohrgeschwindigkeit entsprechenden Signals verwirklicht, und die Formierungseinheit für Bohrbetrieb eine ODER-Schaltung, deren Eingänge als Eingänge der gesamten Einheit wirken und an entsprechende Ausgänge des Kontrollgeräts für Faktorengrößen des adaptiven Modells angeschlossen sind, eine erste UND-Schaltung, deren Eingänge mit entsprechenden Ausgängen des Kontrollgeräts für Faktorengrößen gekoppelt sind, und eine zweite UND-Schaltung enthalten, deren einer Eingang mit einem der Eingänge der ODER-Schaltung vereinigt und <sup>deren</sup> (anderer Eingang mit einem Ausgang der ersten UND-Schaltung verbunden ist, während die Ausgänge der ODER-Schaltung und der zweiten UND-Schaltung als Ausgänge der gesamten Formierungseinheit dienen.

- 37 -

Vorteilhaft enthält die Datenübertragungseinheit einen Satz von Schaltelementen, die für ein Einschreiben ergänzter Werte der Faktoren des adaptiven Modells in die zweite Speichereinrichtung sorgen.

Es wird bevorzugt, wenn jede der Recheneinheiten für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze bzw. nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung einen Optimisator und einen an einen seiner Eingänge angeschlossenen Formierungskreis für laufenden Verschleiß der Bohrmeißelstütze bzw. -ausrüstung enthält, dessen Eingänge mit der Zeitschaltuhr und mit einem Ausgang der Einheit zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels verbunden sind, während am Ausgang des Optimisators Signale formiert werden, die den optimalen Einstellwerten für eine Bohrmeißelbelastung und -drehzahl in Übereinstimmung mit dem laufenden Verschleiß der Bohrmeißelstütze bzw. -ausrüstung entsprechen, und die Einheit zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels zweikanalig ausgeführt und jeder Kanal an einen Eingang des eigenen Schaltkreises angeschlossen wird, während der andere Eingang eines jeden der Kanäle mit der Zeitschaltuhr verbunden ist, wobei der erste Kanal einen ersten Divisor, dessen Eingänge mit dem Drehzahlgeber für den Bohrmeißel und mit dem Steuerpult verbunden sind, und ein nichtlineares Element, dessen Eingang mit dem Lastgeber für den Bohrmeißel gekoppelt ist, während deren Ausgänge mit den Eingängen einer ersten am Eingang des Schaltkreises dieses Kanals liegenden Multiplikationsschaltung verbunden sind, und

der zweite Kanal eine Reihenschaltung aus zwei Multiplikatoren enthält, von denen der erste über die beiden Eingänge und der zweite über einen Eingang mit dem Drehzahlgeber für den Bohrmeißel verbunden ist, während der Ausgang des zweiten Multiplikators über einen ersten Summator und über eine an den Ausgang des ersten Summators angeschlossene zweite Multiplikationsschaltung an den ersten Eingang eines zweiten Divisors angeschlossen ist, an dessen anderen Eingang über eine dritte Multiplikationsschaltung ein zweiter Summator, dessen einer Eingang mit dem Steuerpult <sup>(dessen</sup> und zweiter Eingang mit dem Ausgang einer vierten Multiplikationsschaltung verbunden ist, deren Eingänge mit dem Lastgeber für den Bohrmeißel und mit dem Steuerpult gekoppelt sind, und ein dritter Summator angeschlossen ist, dessen einem Eingang eine Vorspannung zugeführt wird und dessen anderer Eingang an den Ausgang einer fünften Multiplikationsschaltung angeschlossen ist, deren Eingänge mit dem Steuerpult und mit einem Ausgang der Recheneinheit für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung gekoppelt sind, wobei der zweite Eingang der zweiten Multiplikationsschaltung mit dem Steuerpult und der zweite Eingang des ersten Summators mit dem Drehzahlgeber verbunden ist.

Es ist zweckmäßig, <sup>wenn</sup> die Schaltung zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors eine an den Ausgang der ersten Speichereinrichtung angeschlossene erste Logarithmierungsschal-



tung, die über eine erste Multiplikationsschaltung mit dem ersten Eingang eines ersten Summators verbunden ist, eine an den Ausgang der Einheit für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit angeschlossene zweite Logarithmierungsschaltung, eine an einen Ausgang des Kontrollgeräts angeschlossene dritte Logarithmierungsschaltung und eine an den Drehzahlgeber für den Bohrmeißel angeschlossene vierte Logarithmierungsschaltung enthält, von denen die zweite und die dritte Logarithmierungsschaltung an die Eingänge eines zweiten Summators angeschlossen sind, der mit einem Schaltkreis gekoppelt ist, dessen einer Ausgang über einen Inverter und <sup>dessen</sup> anderer Ausgang unmittelbar an die Eingänge des ersten Summators angeschlossen sind, während die vierte Logarithmierungsschaltung über eine zweite Multiplikationsschaltung und über einen dritten Summator an den ersten Eingang eines Divisors angeschlossen ist, dessen zweiter Eingang über eine dritte Multiplikationsschaltung an den Ausgang der ersten Logarithmierungsschaltung und dessen Ausgang an einen Eingang des Schaltkreises angeschlossen ist, wobei der zweite Eingang der dritten Multiplikationsschaltung unmittelbar und der zweite Eingang des dritten Summators über die vierte Multiplikationsschaltung mit dem Ausgang der ersten Logarithmierungsschaltung und der Ausgang des ersten Summators mit dem Eingang einer Antilogarithmierungsschaltung verbunden ist, deren Ausgang als Ausgang der gesamten Schaltung zur Ergänzung eines Faktors dient.

- 40 -

Es ist <sup>weiter</sup> zweckmäßig, wenn die Schaltung zur Ergänzung eines der Drehzahl des Bohrmeißels entsprechenden Faktors einen ersten Summator, dessen einer Eingang mit dem Ausgang der ersten Speichereinrichtung verbunden ist, eine erste an einen Ausgang des Kontrollgeräts für Parameterwerte angeschlossene Logarithmierungsschaltung, eine zweite an den Ausgang der Einheit für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit angeschlossene Logarithmierungsschaltung, eine dritte an den Drehzahlgeber für den Bohrmeißel angeschlossene Logarithmierungsschaltung und eine vierte an einen Ausgang der Schaltung zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors angeschlossene Logarithmierungsschaltung enthält, von denen die erste und die zweite Logarithmierungsschaltung über einen zweiten Summator mit einem Eingang eines Schaltkreises verbunden sind, dessen einer Ausgang unmittelbar und <sup>(dessen</sup> anderer Ausgang über einen Inverter mit den anderen Eingängen des ersten Summators gekoppelt sind, die dritte Logarithmierungsschaltung über eine erste Multiplikationsschaltung und über eine Reihenschaltung aus einer zweiten Multiplikationsschaltung und einem dritten Summator an die zwei Eingänge eines Divisors angeschlossen ist, dessen Ausgang an den zweiten Eingang des Schaltkreises angeschlossen ist, während die vierte Logarithmierungsschaltung über eine dritte Multiplikationsschaltung an den anderen Eingang des dritten Summators angeschlossen ist, wobei der zweite Eingang der ersten Multiplikationsschaltung an den Ausgang des zweiten Summators angeschlossen ist und der Ausgang des ersten Summators

als Ausgang der gesamten Schaltung zur Ergänzung eines Faktors dient.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand einer Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf

Zeichnungen näher erläutert. ] Es zeigt:

Fig. 1 zeitlichen Verlauf eines Produktes aus gesteuerten Parametern im Bohrversuch;

Fig. 2 Zeitdiagramm von gesteuerten Parametern im Bohrbetrieb;

Fig. 3 Prinzipschaltung der erfindungsgemäßen Steuerungseinrichtung für ein Bohrwerkzeug;

Fig. 4 erfindungsgemäße Formierungseinheit für optimale Steuersignale;

Fig. 5 erfindungsgemäßes Kontrollgerät für Faktorengrößen des adaptiven Modells;

Fig. 6 erfindungsgemäße Einheit für eine sukzessive Dateneingabe vom Steuerpult;

Fig. 7 erfindungsgemäße Korrektioneinheit für Faktoren des adaptiven Modells;

Fig. 8 erfindungsgemäße Einheit zur Ermittlung ergänzter Faktorengrößen des adaptiven Modells;

Fig. 9 erfindungsgemäße Schaltung zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors;

Fig. 10 erfindungsgemäße Schaltung zur Ergänzung eines der Bohrmeißeldrehzahl entsprechenden Faktors;

Fig. 11 erfindungsgemäße Einheit für eine diskre-

te Mittelung der Bohrgeschwindigkeit;

Fig. 12            erfindungsgemäße Formierungseinheit für Bohrbetrieb ;

Fig. 13            erfindungsgemäße Datenübertragungseinheit;

Fig. 14            erfindungsgemäße Recheneinheit für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze;

Fig. 15            erfindungsgemäße Einheit zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels.

Die Steuerungsmethode für ein Bohrverfahren besteht aus zwei Betriebsarten: einem Bohrversuch für eine zu bohrende Gesteinsplatte und dem eigentlichen Bohrbetrieb. Es ist ein Mehrtakt-Bohrversuch üblich. Hierbei ist die Taktzahl im Bohrversuch nicht festgelegt. Bei jedem Takt dieses Bohrversuches werden Belastungswerte für ein Werkzeug (im weiteren ein Bohrmeißel) und Drehzahlwerte für diesen vorgegeben sowie eine den genannten Vorgabewerten der Bohrmeißelbelastung und -drehzahl entsprechende Bohrgeschwindigkeit gemessen.

Nach Beendigung des Taktes werden neue Steuersignale geformt, die an entsprechenden mit dem Bohrmeißel zusammenwirkenden Stellmechanismen eintreffen. Zu diesem Zweck wird ein adaptives mathematisches Modell für den Vorgang benutzt, das in folgender Form:

$$\ln v(N) = \sum_{i=1}^l k_i(N) \ln x_i + \sum_{j=1}^m x_j \ln k_j(N)$$

dargestellt wird, wobei

$N$  Taktnummer,  
 $v(N)$  Bohrgeschwindigkeitswert im  $N$ -ten Takt,  
 $k_1, k_j$  den gesteuerten Parametern entsprechende zu ergänzende Faktoren des adaptiven Modells,  
 $x_1, x_j$  Steuerparameterwerte und  
 $i, j$  Nummern der gesteuerten Parameter bezeichnen.

Im ersten Takt werden für die zu ergänzenden Faktoren des adaptiven Modells  $k_1, k_j$ , wo beispielsweise  $k_j$  einen Faktor für eine Bohrbarkeit des "Gestein<sup>s</sup>",  $k_1$  einen Wert für die Bohrmeißeldrehzahl bedeutet, manche Näherungswerte angenommen. In diesem Takt wird nach den genannten Vorgabewerten für die Bohrmeißelbelastung und -drehzahl, was in der Formel einer Wahl von  $x_1, x_j$  entsprechenden Faktoren entspricht, und nach angenommenen Näherungswerten für die zu ergänzenden Faktoren ein prognostizierter Bohrgeschwindigkeitswert  $v(N)$  im laufenden Takt des Bohrversuches ermittelt.

Dann werden der laufende Meßwert  $v$  und der prognostizierte ermittelte Wert  $v(N)$  der Geschwindigkeit in ein und demselben Takt  $\alpha$  verglichen, worin  $\alpha = \ln v(N) - \ln v$  bedeutet. Nach den Ergebnissen des Vergleiches werden korrigierte Größen entsprechender Faktoren  $k_1$  und  $k_j$  des adaptiven Modells nach den Formeln:

$$k_1(N) = k_1(N-1) + \text{sign}[\ln v(N) - \ln v] \cdot \frac{\alpha \ln x_1}{\sum_{i=1}^1 (\ln x_1)^2 + \sum_{j=1}^m x_j^2}$$

$$k_j(N) = \exp \left\{ \ln k_j(N-1) + \text{sign}[\ln v(N) - \ln v] \cdot \frac{\alpha x_j}{\sum_{i=1}^1 (\ln x_i)^2 + \sum_{j=1}^m x_j^2} \right\}$$

geformt , wobei  $v$  den gemessenen Wert der mechanischen Bohrgeschwindigkeit im laufenden Takt bedeutet.

Hierbei werden sämtliche zu ergänzenden Faktoren in jedem Takt gleichzeitig korrigiert.

Dann werden unter Berücksichtigung der genannten ergänzten Faktoren <sup>nach</sup> einem beliebigen bekannten Verfahren nahe den Optimalwerten liegende Werte der Steuersignale ermittelt, die Einstellwerte zur Einwirkung auf den Bohrmeißel im nachfolgenden Takt des genannten Betriebsversuches darstellen, wobei eine Konstanthaltung der Bohrmeißelbelastung und -drehzahl im Takt gewährleistet wird.

Bei jedem nächstfolgenden Takt wird die obengenannte Arbeitsfolge im Takt wiederholt, wobei bei der Bestimmung der Steuersignale die ergänzten Faktoren des adaptiven Modells des vorhergehenden Taktes ausgenutzt und bei einem Übergang zu jedem nachfolgenden Takt die Werte der zu bestimmenden Steuersignale an für die betreffenden Bohrbedingungen optimale Werte angenähert werden.

Die taktweise Änderung der Bohrgeschwindigkeit wird bewertet und bei einer Koinzidenz der gemessenen und der zu bestimmenden Bohrgeschwindigkeit in zwei aufeinanderfolgenden Takten des Bohrversuches ein Signal für einen Übergang vom genannten Bohrversuch zum eigentlichen Bohrbetrieb geformt , wobei die im letzten Takt geformten

Steuersignale als Steuersignale im ersten Takt des eigentlichen Bohrbetriebes wirken. Für die nachfolgenden Takte des eigentlichen Bohrbetriebes werden diskret wechselnde, berechnete, festgelegte <sup>(sowie</sup> stufenweise Steuersignale, also nach einem akzeptierten Gütekriterium erhaltene optimale Steuersignale mit Konstantwerten ihrer Pegel im Takt, angenommen. In jedem Takt wird die Bohrgeschwindigkeit gemessen. Nach dem gemessenen Wert der Bohrgeschwindigkeit werden die Faktorengrößen und ein prognostizierter Wert der Bohrgeschwindigkeit im Takt ermittelt. Bei einer Ergänzung der Faktoren des adaptiven Modells werden die Größen der Faktoren des vorhergehenden Taktes ausgenutzt. Bei einer Abweichung der zu überwachenden Parameter des Bohrvorganges von den Sollwerten wird vom erwähnten eigentlichen Bohrbetrieb zum Bohrversuch für eine Gesteinsplatte übergegangen und bei einer Ergänzung der Faktoren des Modells von den Faktoren des letzten Taktes des Bohrbetriebes Gebrauch gemacht.

Das Wesen der erfindungsgemäßen Steuerungsmethode geht also dahin, daß zur Auffindung der Werte der zu ergänzenden Parameter eine einmalige Bohrung unter Anwendung der vorgegebenen Einstellwerte von Stellgrößen - Bohrmeißelbelastung und -drehzahl - ausgenutzt wird.

Die Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Methode wird durch ein Zeitdiagramm (Fig. 1) veranschaulicht, wo auf der Ordinatenachse ein den Bohrbetrieb charakterisierender komplexer Wert - ein Produkt aus der Bohrmeißelbelastung

und -drehzahl (P.n) - und auf der Abszissenachse die Bohrzeit aufgetragen sind (es ist ein dem Anfang der Erprobung entsprechender Takt dargestellt). Bei der bekannten Suchmethode (Kurve I) ("Fünf-Punkte-Methode") vollzieht das System in festen Zeitabständen eine sprunghafte Änderung der Kombination (P.n) in Übereinstimmung mit einer vorgegebenen apriori-Wechselfolge von Einstellwerten und nähert sich daher einer optimalen Kombination als Regel in keinem der sechs Takte der Erprobung. In Fig. 1 ist ein Fall andeutend dargestellt, wo auf einer der Stufen der Betriebsversuch zufällig mit einem optimalen Betrieb zusammengefallen ist, das bekannte Steuerungssystem "fühlt" das aber nicht und lenkt das Verhalten in Fortsetzung des vorgegebenen Änderungsprogramms für Einstellwerte in keine optimale Zone. Auf Grund dessen, daß jeder Takt der Erprobung zur Erhaltung aussagesicherer Ergebnisse recht lange (etwa zehn Minuten lang) dauern muß, ist die gesamte Betriebsdauer der Anlage unter ungünstigen Bedingungen recht groß.

Bei der erfindungsgemäßen Methode entfällt die Suchzeit im wesentlichen auf eine beinahe optimale Parameterkombination (die ersten Takte sind am wirksamsten (Kurve 2), deshalb ist die Bohrleistung auf einer recht lange dauernden Stufe der Erprobung viel höher (es sei daran erinnert, daß sich die Erprobung im Laufe des Meißelmarsches mehrmals wiederholen kann). Nach der erfindungsgemäßen Methode bedarf es keiner Vorausbestimmung der Lagerungsgrenzen des zu bohrenden Gesteines, und eine Identifizierung der Parameter erfolgt unter Beibehaltung rationellen Bohrbetriebs. Dies gewährleistet eine Erhöhung der mittleren Bohr- und



Vortriebsleistung pro Bohrmeißel um ca. 1,75%.

Die erfindungsgemäße Methode wird mit Hilfe einer Steuerungseinrichtung für ein Bohrverfahren realisiert, deren Funktionsschaltung in Fig. 3 wiedergegeben ist. Hier ist ein Bohrwerkzeug 3 <sup>angedeutet</sup> dargestellt, das entsprechende Stellmechanismen 4, beispielsweise einen Elektroantrieb zur Drehbewegung für den Bohrmeißel und einen elektrischen Windenantrieb zur Erzeugung einer entsprechenden Bohrmeißelbelastung in bekannter Weise aufweist.

Die Einrichtung verfügt über einen Bohrgeschwindigkeitsgeber 5, einen Lastgeber 6 für den Bohrmeißel und einen Drehzahlgeber 7 für den Bohrmeißel, die alle mit einer elektronischen Recheneinrichtung in Wechselwirkung stehen, in der ein adaptives Modell enthalten ist. Die Eingänge der Stellmechanismen 4 sind über einen Digital-Analog-Umsetzer 8 für Signale mit einem Steuerpult 9 gekoppelt.

Die elektronische Recheneinrichtung enthält eine Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale, deren Ausgänge 11 mit Eingängen des Digital-Analog-Umsetzers 8 und deren Eingänge mit einer Zeitschaltuhr 12 und mit Ausgängen 13 und 14 der Geber 6 bzw. 7 verbunden sind. Die erfindungsgemäße Steuereinrichtung weist <sup>weiter</sup> eine Einheit 15 für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit auf, deren Eingänge mit dem Geber 5 und der Zeitschaltuhr 12 gekoppelt sind. Die elektronische Recheneinrichtung besitzt ihrerseits eine Einheit 16 für eine sukzessive Dateneingabe vom

Steuerpult 9, eine Einheit 17 zur Ermittlung ergänzter Werte des adaptiven Modells, deren Eingänge mit dem Ausgang 18 der Einheit 15 und mit Ausgängen 19 der Einheit 16 verbunden sind, und zwei Speichereinrichtungen 20 und 21, von denen die erste (20) über die Eingänge mit Ausgängen 22 der Einheit 17 und über die Ausgänge 23 mit Eingängen der gleichen Einheit 17 und mit Eingängen eines Kontrollgeräts 24 für Prozeßparameterwerte und die zweite Speichereinrichtung 21 über die Eingänge mittels einer Datenübertragungszeit 25 mit den entsprechenden Ausgängen 23 der Einrichtung 20 verbunden ist.

Die elektronische Recheneinrichtung weist <sup>ferner</sup> eine Formierungseinheit 26 für Bohrbetrieb, deren Eingänge mit Ausgängen 27 des Kontrollgeräts 24 und deren Ausgang 28 mit einem Eingang der Datenübertragungseinheit 25 verbunden ist, und eine Korrektioneinheit 29 für Faktoren des adaptiven Modells auf, deren Eingänge mit den Ausgängen 30 der Speichereinrichtung 21 und mit einem Ausgang 31 der Einheit 26 und deren Ausgänge 32 mit entsprechenden Eingängen der Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale verbunden sind, deren Ausgänge 33, 34 und 35 jeweils auch mit einem Eingang des Kontrollgeräts 24, mit der Zeitschaltuhr 12 und mit dem Steuerpult 9 gekoppelt sind.

In Fig. 4 ist eine Schaltung der Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale aufgeführt, die eine Einheit 36 zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, eine Recheneinheit 37 für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze,

eine Recheneinheit 38 für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung und eine Kommutationsschaltung 39 enthält. Die Einheit 36 weist eine erste Gruppe von Eingängen, die mit einem Ausgang der Zeitschaltuhr 12 und mit den Ausgängen 13 und 14 des Lastgebers 6 bzw. des Drehzahlgebers 7 für den Bohrmeißel verbunden sind, und eine zweite Gruppe von Eingängen auf, die mit dem Steuerpult 9 (Fig. 3) gekoppelt ist.

Die Eingänge der Einheit 37 (Fig. 4) sind mit einem Ausgang 41 der Einheit 36 zur Bestimmung der Abarbeitungsart, mit der Zeitschaltuhr 12 und mit dem Steuerpult 9 verbunden, während die Eingänge der Einheit 38 mit einem Ausgang 42 der Einheit 36 zur Bestimmung der Abarbeitungsart und mit dem Steuerpult 9 (Fig. 3) gekoppelt sind. Die Einheiten 37 und 38 (Fig. 4) weisen eine Gruppe von Eingängen auf, die über eine Einheit 40 elektronischer Schalter mit den Ausgängen 32 (Fig. 3) der Korrektioneinheit 29 und mit einem Ausgang des Kontrollgeräts 24 verbunden sind.

Die Kommutationsschaltung 39 (Fig. 4) enthält zwei Gruppen 43 und 44 von Schaltelementen, deren jede mit den Ausgängen 45 bzw. 46 der Einheiten 37 bzw. 38 verbunden ist, UND-Schaltungen 47 und 48, deren Ausgänge mit den beiden Gruppen 43 und 44 von Schaltelementen und deren Eingänge mit den Ausgängen der Einheit 36 und mit der Zeitschaltuhr 12 verbunden sind, und zwei Summierungselemente 49 und 50,

deren Eingänge je mit den Ausgängen der beiden Gruppen 43 und 44 gekoppelt sind. Die Ausgänge 51 und 52 der Summierungselemente 49 bzw. 50 dienen als Ausgänge der gesamten Einheit 10, an denen Steuersignale zur Steuerung der Stellmechanismen 4 (Fig. 3) des Bohrwerkzeuges 3 erzeugt werden.

Das Kontrollgerät 24 für Faktorengrößen des adaptiven Modells enthält eine Funktionsschaltung 53 (Fig. 5) zur Potenzierung, drei Multiplikationsschaltungen 54, 55 und 56 für Signale, eine Divisionsschaltung 57 für Signale, einen Komparator 58 und einen Summator 59. Die Eingänge der Schaltung 53 zur Potenzierung sind mit dem Ausgang 14 (Fig. 3) des Drehzahlgebers 7 für den Bohrmeißel und mit dem Ausgang 23 der Speichereinrichtung 20 verbunden. Die Eingänge der Multiplikationsschaltung 54 (Fig. 5) sind mit dem Ausgang 13 (Fig. 3) des Lastgebers 6 und mit dem entsprechenden Ausgang 23 der Speichereinrichtung 20 gekoppelt, während der Ausgang 60 (Fig. 5) der Schaltung 54 mit einem Eingang einer Multiplikationsschaltung 55, an deren anderen Eingang der Ausgang 61 der Schaltung 53 zur Potenzierung angeschlossen ist, in Verbindung steht.

Die Eingänge der Divisionsschaltung 57 für Signale sind an den Ausgang 62 der Multiplikationsschaltung 55 und an den Ausgang 63 des Summators 59 angeschlossen, der Eingangswiderstände 64 und 65 und einen Widerstand 66 im Rückkopplungskreis aufweist und mit einem Eingang über einen variablen Widerstand 67 an eine Vorspannungsquelle 68 und mit dem anderen Eingang an den Ausgang 69 der Multiplika-

tionsschaltung 56 gekoppelt ist. Die Eingänge der letzteren sind mit einem Ausgang 33 (Fig. 3) der Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale und über einen variablen Widerstand 70 (Fig. 5) mit einer Spannungsquelle 71 verbunden.

Der Ausgang 72 der Divisionsschaltung 57 ist mit einem entsprechenden Eingang der Einheit 17 (Fig. 3) zur Ermittlung ergänzter Werte der Faktorengrößen und mit einem Eingang des Komparators 58 (Fig. 5) verbunden, dessen anderer Eingang mit dem Ausgang 18 (Fig. 3) der Einheit 15 für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit und <sup>(dessen</sup> Ausgang 73 (Fig. 5) über einen Schaltkreis 74 mit einem entsprechenden Eingang der Formierungseinheit 26 (Fig. 3) für Bohrtrieb gekoppelt ist.

Die Einheit 16 für eine sukzessive Dateneingabe vom Steuerpult 9 enthält Kodeumsetzer 75, 76 (Fig. 6) zur Erhaltung eines analogen Signals, deren Eingänge an die Ausgänge zu zwei Gruppen 77 und 78 zusammengeschalteter elektronischer Schalter angeschlossen sind. Der Eingang eines jeden elektronischen Schalters ist mit einem entsprechenden Kodeumschalter 79 des Steuerpultes 9 (Fig. 3) und der Steuereingang 00 (Fig. 6) eines jeden elektronischen Schalters mit einem entsprechenden Ausschalter 81 gekoppelt. Zur Vereinfachung ist in der Zeichnung die Kopplung nur eines elektronischen Schalters angedeutet, es ist aber zu beachten, daß jeder elektronische Schalter der Gruppen 77 und 78 mit dem Steuerpult 9 in der gleichen Weise gekoppelt ist.

Die Korrektioneinheit 29 (Fig. 3) für Faktoren des adaptiven Modells enthält eine Gruppe 82 (Fig. 7) elektronischer Schalter, die einen vereinigten Steuereingang 83 aufweisen, und einen Former für einen Korrektionswert, der zwei Kanäle 84 und 85 aufweist, von denen jeder eine Speicher- und Folgeschaltung für ein Signal enthält. Die Ausgänge der Kanäle 84 und 85 treten als Ausgänge 32 der gesamten Korrektioneinheit 29 auf, und deren Eingänge sind an die elektronischen Schalter angeschlossen.

Jeder der Kanäle 84 (85) enthält eine Reihenschaltung aus einem Operationsverstärker 86 mit einem Kondensator 87 im Rückkopplungskreis sowie aus einem Kondensator 88 am Eingang und einem Verstärker 89 am Ausgang.

Gemäß der Erfindung enthält die Einheit 17 (Fig. 3) zur Ermittlung ergänzter Werte der Faktoren des adaptiven Modells eine Schaltung 90 (Fig. 8) zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors und eine an deren Ausgang 91 angeschlossene Schaltung 92 zur Ergänzung eines der Bohrmeißeldrehzahl entsprechenden Faktors. Die Eingänge der Schaltungen 90 und 92 sind an die Ausgänge 19 (Fig. 3 und 6) der Einheit 16 für eine sukzessive Dateneingabe, an die Ausgänge 23 der Speichereinrichtung 20, an den Ausgang 18 der Einheit 15 für eine diskrete Mittelung, an den Ausgang 14 des Gebers 7 und an einen Ausgang 93 (Fig. 8) des Kontrollgeräts 24 für Prozeßparameterwerte angeschlossen.

Die Ausgänge der Schaltungen 90 und 92 stellen Ausgänge 22 der gesamten Einheit 17 dar.

In Fig. 9 ist die Schaltung 90 zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors dargestellt. Die Schaltung 90 enthält vier gleiche Logarithmierungsschaltungen 94, 95, 96, 97, von denen die Schaltung 94 an den Ausgang 23 (Fig. 9,3) der Speichereinrichtung 20, die Schaltung 95 an einen Ausgang 93 des Kontrollgeräts 24, die Schaltung 96 an den Ausgang 18 der Einheit 15 für eine diskrete Mittelung und die Schaltung 97 an den Ausgang 14 des Gebers 7 angeschlossen ist.

Die Schaltung 90 enthält Summatoren 98, 99, 100 und einen Inverter 101 jeweils mit Eingangswiderständen 102, 103 und 104, 105 und 106, 107 und 108 und 109 sowie Widerstände 110, 111, 112, 113 im Rückkopplungskreis von Operationsverstärkern, aus denen die Summatoren 98 bis 101 aufgebaut sind.

Darüber hinaus gibt es in der Schaltung 90 gleiche Multiplikationsschaltungen 114, 115, 116, 117, einen Divisor 118 und einen elektronischen Schaltkreis 119.

Die Logarithmierungsschaltung 94 ist mit einem Eingang der Multiplikationsschaltung 114 verbunden, die ihrerseits an den Eingang des Summators 98 angeschlossen ist. Die Logarithmierungsschaltungen 95 und 96 sind an die Eingänge des Summators 99 angeschlossen, der über den elektronischen Schaltkreis 119 an den Inverter 101 angeschlossen ist. Die Logarithmierungsschaltung 97 ist über die Multiplikationsschaltung 116 an einen Eingang des Summators 100

angeschlossen, an dessen anderen Eingang die Multiplikations-schaltung 117 angeschlossen ist, deren Eingang mit dem Ausgang 120 der Schaltung 94 verbunden ist.

An den Eingang des Divisors 118 sind direkt der Ausgang des Summators 100 und über die Schaltung 115 der Ausgang 120 der Logarithmierungsschaltung 94 und der Ausgang des Summators 99 angeschlossen, während der Ausgang 121 des Divisors 118 an einen Eingang des elektronischen Schaltkreises 119 angeschlossen ist, wobei die Ausgänge des Schaltkreises 119 unmittelbar und über den Inverter 101 an die beiden Eingänge des Summators 98 angekoppelt sind.

Am Ausgang des Summators 98 liegt eine Antilogarithmierungsschaltung 122, deren Ausgang als Ausgang 22 der Einheit 17 zur Ermittlung ergänzter Faktorengößen auftritt.

Sämtliche Schaltungen 94 bis 97, 114 bis 117, 122 und der Divisor 118 sind in bekannter Weise ausgeführt. Beispielsweise sind in Fig. 9 die Ausführungen dieser Schaltungen wie folgt dargestellt.

Jede der Schaltungen 94 bis 97 enthält am Ausgang einen Operationsverstärker 123 mit einem Kondensator 124 und einem Widerstand 125 im Rückkopplungskreis und mit Widerständen 126, 127 sowie mit einem Kondensator 128 im korrigierenden Rückkopplungskreis. Einem Eingang des Verstärkers 123 wird über einen Transistor 129 und einen Widerstand 130 eine positive Speisespannung zugeführt. Der Emitter des Transistors 129 ist mit dem Emitter eines Transistors 131 verbunden, dessen Kollektor direkt mit einem Eingang eines Ver-



stärkers 132 und über einen Widerstand 133 mit dem Ausgang 23 (Fig. 3) der Einrichtung 20 gekoppelt ist. Der Operationsverstärker 132 (Fig. 9) enthält in den korrigierenden Rückkopplungskreisen einen Widerstand 134 und Kondensatoren 135 und 136, die Eingänge des Verstärkers 132 sind über Spannungsteiler 137, 138, 139 mit einer Quelle 140 negativer Spannung verbunden.

Der Ausgang des Operationsverstärkers 132 ist über einen Widerstand 141 mit den Emittern der Transistoren 129 und 131 verbunden.

In der Schaltung 94 sind Quellen 142, 143 negativer Spannung und eine Quelle 144 positiver Spannung enthalten.

Jede der Schaltungen 114 bis 117 enthält einen Operationsverstärker 145, in dessen Rückkopplungskreis ein RC -Glied 146, 147 liegt, und Transistoren 148, 149, deren Kollektoren über einen Widerstand 150 bzw. 151 an eine Quelle 152 positiver Spannung und unmittelbar an die Eingänge des Operationsverstärkers 145 angeschlossen sind. Die Emitter der Transistoren 148 und 149 sind zusammen- und über einen Widerstand 153 an eine Speisequelle 154 und über einen Widerstand 155 an den Ausgang 19 der Einheit 16 (Fig. 3) angeschaltet, während die Basis des Transistors 149 (Fig. 9) über einen Widerstand 156 an Erde gelegt und über einen Widerstand 157 mit einem Eingang der Schaltung 114 gekoppelt ist. Die Basis des Transistors 148 ist über einen Widerstand 158 geerdet, während an einem Eingang des Opera-

tionsverstärkers 145 ein aus einem Widerstand 159 und einem Kondensator 160 bestehendes Filter liegt.

Der Divisor 118 enthält eine Multiplikationsschaltung 161, deren einer Eingang als Eingang des Divisors 118 fungiert, dessen anderer Eingang über einen Widerstand 162 mit dem Eingang eines Operationsverstärkers 163 und über einen Widerstand 164 mit dem zweiten Eingang der Schaltung 161 verbunden ist. Der Ausgang des Operationsverstärkers 163, in dessen Rückkopplungskreis ein Kondensator 165 liegt, ist mit dem Ausgang der Schaltung 161 gekoppelt und stellt den Ausgang des Divisors 118 dar.

Fig. 10 zeigt die Schaltung 92 zur Ergänzung eines der Bohrmeißeldrehzahl entsprechenden Faktors. Die Schaltung enthält vier identische Logarithmierungsschaltungen 166, 167, 168, 169, bei denen der Eingang der Schaltung 166 mit einem Ausgang 93 des Kontrollgerätes 24 (Fig. 3), der Eingang der Schaltung 167 (Fig. 10 und 3) mit dem Ausgang 18 der Einheit 15, der Eingang der Schaltung 168 mit dem Ausgang 14 des Gebers 7 und der Eingang der Schaltung 169 mit einem Ausgang 91 (Fig. 8) der Schaltung 90 verbunden ist.

Die Schaltung 92 weist Summatoren 170, 171 und 172 auf, die aus Operationsverstärkern jeweils mit Eingangswiderständen 173, 174, 175 und 176, 177, 178 und 179, 180 und 181 und mit Widerständen 182, 183 und 184 im Rückkopplungskreis der Operationsverstärker aufgebaut sind. Außerdem weist die Schaltung 92 einen elektronischen Schaltkreis 185, identische Multiplikationsschaltungen 186, 187, 188,

einen Inverter 189 auf einem Operationsverstärker mit einem Eingangswiderstand 190 und mit einem Widerstand 191 im Rückkopplungskreis und einen Divisor 192 auf.

Die Logarithmierungsschaltungen 166 und 167 sind an die Eingänge des Summators 171 angeschlossen, dessen Ausgang mit dem elektronischen Schaltkreis 185 verbunden ist. Die Logarithmierungsschaltungen 168 und 169 sind beide über die entsprechende Multiplikationsschaltung 187 bzw. 188 an zwei Eingänge des Summators 172 angeschlossen, dessen drittem Eingang über den Widerstand 181 eine Vorspannung zugeführt wird und dessen Ausgang an einen Eingang des Divisors 192 angeschlossen ist. An den anderen Eingang des Divisors 192 ist der Ausgang der Multiplikationsschaltung 186 angeschlossen, deren Eingänge ihrerseits mit dem Ausgang des Summators 171 bzw. mit dem Ausgang der Logarithmierungsschaltung 168 verbunden sind.

Der Ausgang des Divisors 192 ist mit einem Eingang des elektronischen Schaltkreises 185 verbunden, an dessen anderen Eingang der Ausgang des Summators 171<sup>(liegt</sup> und dessen Ausgang unmittelbar und über den Inverter 189 mit zwei Eingängen des Summators 170 gekoppelt ist. Die<sup>(beiden</sup> anderen Eingänge des Summators 170 sind mit dem Ausgang 19 der Einheit 16 (Fig. 10 und 3) für eine sukzessive Dateneingabe und mit dem Ausgang 23 der Speichereinrichtung 20 verbunden, während der Ausgang des Summators 170 den Ausgang 22 der Einheit 17 zur Ermittlung ergänzter Werte der Faktoren darstellt.

In Fig. 11 ist eine Einheit 15 für eine diskrete Mitte-

lung der Bohrgeschwindigkeit wiedergegeben, die eine Vergleichs- und Leseschaltung 193 für ein der Bohrgeschwindigkeit entsprechendes Signal unter Benutzung seiner Umhüllenden und ein elektronisches Schaltelement 194 an ihrem Ausgang aufweist, dessen Steuereingang mit dem Ausgang 195 der Zeitschaltuhr 12 (Fig. 3) gekoppelt ist.

Die Schaltung 193 (Fig. 11) enthält einen Operationsverstärker 196, in dessen Rückkopplungskreis eine Diode 197 und ein Widerstand 198 in Reihe liegen, deren gemeinsamer Verbindungspunkt über einen Widerstand 199 an eine Vorspannungsquelle angeschlossen ist. Der Eingang des Operationsverstärkers 196 ist mit einem Kondensator 200 verbunden, dessen anderes Ende über eine Diode 201 mit dem Ausgang des Bohrgeschwindigkeitsgebers 5, über eine Diode 202 mit dem Ausgang des Operationsverstärkers 196 und über einen Widerstand 203 an eine Speisequelle 204 angeschlossen ist.

Die Formierungseinheit 26 (Fig. 3) für Bohrbetrieb weist eine ODER-Schaltung 205 (Fig. 12) und zwei UND-Schaltungen 206 und 207 auf. Die Eingänge der Schaltung 205 und 206 und ein Eingang der Schaltung 207 sind mit Ausgängen 27 des Kontrollgeräts 24 verbunden. Der Ausgang der Schaltung 206 ist an den zweiten Eingang der Schaltung 207 angeschlossen, deren Ausgänge mit Eingängen der Einheiten 29 und 25 (Fig. 3) verbunden sind und jeweils Ausgänge 31 und 28 der gesamten Formierungseinheit 26 für Bohrbetrieb darstellen.

(andeutungsweise

In Fig. 13 ist eine Datenübertragungseinheit 25 wiedergegeben, die einen Satz 208 elektronischer Schaltelemente darstellt, die an den Ausgängen 209 Bedingungen für ein Auftreten von Signalen schaffen, die für ein Einschreiben ergänzter Werte der Faktoren des adaptiven Modells in die Speichereinrichtung 21 (Fig. 3) sorgen.

Die in Fig. 14 dargestellte Recheneinheit 37 (Fig. 4) für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze enthält einen Optimisator 210 und einen an einen seiner Eingänge angeschlossenen Formierungskreis 211 für den laufenden Stützenverschleiß, dessen Eingänge mit einem Ausgang 212 (Fig. 3) der Zeitschaltuhr 12 und mit einem Ausgang 41 (Fig. 4) der Einheit 36 zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels verbunden sind. Die Eingänge des Optimisators 210 (Fig. 14) sind mit Ausgängen 213 (Fig. 3) des Steuerpultes 9 gekoppelt, während an den Ausgängen 45 (Fig. 4) der Einheit 37 darstellenden Ausgängen des Optimisators 210 (Fig. 14) optimalen Einstellwerten für eine Bohrmeißelbelastung  $P_{opt}$  und -drehzahl  $n_{opt}$  entsprechende Signale formiert werden.

Die Recheneinheit 38 (Fig. 4) für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Ausrüstung ist in der gleichen Schaltung mit Optimisator wie auch die Einheit 37 ausgeführt, deshalb ist in der vorliegenden Beschreibung ihre Ausführung nicht näher erwähnt.

Als Optimisator 210 (Fig. 14) werden in den Einheiten 37 und 38 beliebige bekannte Optimisatoren eingesetzt,

weshalb es auf deren Ausführung gleichfalls nicht eingegangen wird.

Der Formierungskreis 211 für laufenden Verschleiß der Bohrmeißelstütze (oder -ausrüstung) enthält einen elektronischen Schalter 213, dessen Steuereingang mit einem Ausgang 212 der Zeitschaltuhr 12 verbunden und dessen anderer Eingang über ein RC-Glied 215, 216 an einen Ausgang 41 der Einheit 36 angeschlossen ist. Der Ausgang des elektrischen Schalters 214 ist an einen Inverter 217 angeschlossen, in dessen Rückkopplungskreis ein Kondensator 218 liegt und dessen Ausgang außerdem über einen Widerstand 219 an den zweiten Eingang des Schalters 214 und an einen an einen Eingang des Optimisators 210 gekoppelten Inverter 220 direkt angeschlossen ist.

Die in Fig. 15 wiedergegebene Einheit 36 (Fig. 4) zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels ist zweikanalig ausgeführt und jeder Kanal an einen Eingang eines eigenen Schaltkreises 221, 222 angeschlossen, dessen anderer Eingang an einen Ausgang 212 (Fig. 3) der Zeitschaltuhr 12 angekoppelt ist. Der erste Kanal enthält einen an den Ausgang 14 (Fig. 15 und 3) des Gebers 7 und an einen Ausgang 213 des Steuerpultes 9 angeschlossenen Divisor 223, ein nicht lineares Element 224, dessen Eingang mit dem Ausgang 13 des Gebers 6 verbunden ist, und eine Multiplikationsschaltung 225, deren Eingänge mit dem Ausgang des Divisors 223 und des nichtlinearen Elementes 224 und deren Ausgang mit dem Schaltkreis 221 gekoppelt ist.

Der zweite Kanal enthält einen Divisor 226, der aus Multiplikationsschaltungen 227 und 228 aufgebaut und dessen Eingang an den Ausgang 14 des Gebers 7 angeschlossen ist, einen Summator 229 am Ausgang des Divisors 226 und eine Multiplikationsschaltung 230, deren Eingänge mit dem Ausgang des Summators 229 und deren Ausgänge mit einem Eingang eines Divisors 231 verbunden sind, dessen Ausgang seinerseits mit einem Eingang des Schaltkreises 222 gekoppelt ist.

Der zweite Kanal enthält außerdem eine Multiplikationsschaltung 232, deren Eingänge mit dem Ausgang 13 (Fig. 15 und 3) des Gebers 6 und mit einem Ausgang 213 des Pultes 9 verbunden sind.

Der Ausgang einer Schaltung 232 ist über einen Summator 233 an einen Eingang der Multiplikationsschaltung 234 angeschlossen, deren Ausgang mit dem zweiten Eingang des Divisors 231 gekoppelt ist.

An den Ausgang 213 des Pultes 9 ist ein Eingang einer weiteren Multiplikationsschaltung 235 angeschlossen, deren anderer Eingang mit dem Ausgang 46 der Einheit 38 und deren Ausgang mit einem Eingang eines Summators 236 gekoppelt ist, dessen anderem Eingang über einen Widerstand 237 eine Vorspannung von einer Quelle 238 zugeführt wird, während der Ausgang dieses Summators 236 mit dem zweiten Eingang der Multiplikationsschaltung 234 verbunden ist.

Die Schaltkreise 221 und 222 sind identisch ausgeführt und enthalten je einen elektronischen Schalter 239, dessen

einer Ausgang an einen Operationsverstärker 240 mit einem Kondensator 241 im Rückkopplungskreis und mit einem Widerstand 242 angeschlossen ist, der über den elektronischen Schalter 239 in den zweiten Rückkopplungskreis des im direkten Stromkreis einen Widerstand 243 enthaltenden Verstärkers 240 eingeschaltet ist.

Der elektronische Schalter 239 ist über einen Widerstand 244 und der Operationsverstärker 240 über einen Widerstand 245 an einen Inverter 246 angeschlossen, in dessen Rückkopplungskreis ein Widerstand 247 liegt.

Der Ausgang des Inverters 246 tritt als Ausgang des Schaltkreises 222 (221) auf. Die Ausgänge der Schaltkreise 221 und 222 sind an einen Komparator 248 mit einem Schaltkreis für ein Ausgangssignal angeschlossen.

Die Steuerungseinrichtung für ein Bohrwerkzeug arbeitet wie folgt.

Bevor die Einrichtung gestartet wird, werden folgende Vorbereitungen getroffen. Vom Steuerpult 9 werden über die Einheit 16 für sukzessive Dateneingabe in die Einheit 17 der angenäherten Vorgabegrößen der zu ergänzenden Faktoren entsprechende Signale und in die Formierungseinheit 10 für optimale Einstellwerte der Steuersignale den zur Optimierung des Bohrvorganges benutzten Konstantwerten entsprechende Signale eingespeist.

Im ersten Anfangstakt des Bohrversuches für eine Gesteinsplatte werden vom Steuerpult 9 über die Digital-Analog-Umsetzer 8 Signale für Einstellwerte einer Bohrmeißel-



belastung und -drehzahl auf die entsprechenden Stellmechanismen 4 gegeben, die eine Aufrechterhaltung der Vorgabewerte der Belastung des Werkzeuges und seiner Drehzahl im Bohrtakt gewährleisten, und es wird die Zeitschaltuhr 12 angelassen.

Vom Geber 5 gelangt in die Einheit 15 für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit ein Signal für einen Momentanwert der Bohrgeschwindigkeit. In der Einheit 15 erfolgt eine Mittelung des Bohrgeschwindigkeitswertes für einen durch die Zeitschaltuhr 12 festgelegten Zeitabstand. Nach Ablauf des vorgegebenen Zeitabstandes wird durch die Zeitschaltuhr 12 über einen Stromkreis 195 ein Freigabesignal in die Einheit 15 geliefert, und am Ausgang 18 der Einheit 15 erscheint ein dem Pegel des gemittelten Bohrgeschwindigkeitswertes im ersten Takt des Bohrversuches entsprechendes Signal, das auf die Einheit 17 und auf das Kontrollgerät 24 gegeben wird. In der Einheit 17 werden zur Ermittlung ergänzter Faktoren auf ein Signal vom Ausgang 18 der Einheit 15 die Faktoren des adaptiven Modells ergänzt. Zur Ergänzung der Faktoren werden auch Signale vom Ausgang 14 des Drehzahlgebers 7 für den Bohrmeißel, Signale von den Ausgängen 19 der Einheit 16 für eine sukzessive Dateneingabe und von einem Ausgang 93 des Kontrollgeräts 24 benutzt.

Die Faktoren werden gleichzeitig über die zwei Kanäle 90 und 92 ergänzt.

Nach der Ergänzung werden die den ergänzten Signalen der Faktoren des ersten Taktes entsprechenden Signale von den Ausgängen 22 in die Speichereinrichtung 20 geliefert und treten an deren Ausgang 23 auf. Die Signale vom Ausgang 23

werden in das Kontrollgerät 24 für Prozeßparameterwerte und in die Datenübertragungseinheit 25 gegeben.

In das Kontrollgerät 24 gelangen Signale für die Bohrgeschwindigkeit vom Ausgang 14 des Gebers 7, vom Ausgang 13 des Lastgebers 6 für den Bohrmeißel, vom Ausgang 18 der Einheit 15 für eine Mittelung der Bohrgeschwindigkeit, vom Ausgang 23 der Einrichtung 20 und vom Ausgang 33 der Formierungseinheit 10 für Steuersignale. Im Kontrollgerät 24 wird der Rechenwert der Bohrgeschwindigkeit bestimmt, die mit dem gemittelten vom Ausgang 18 der Einheit 15 eingetroffenen Geschwindigkeitswert verglichen wird. Nach dem Vergleichsergebnis werden Signale an den Ausgängen 27 des Kontrollgeräts 24 (wenn die Signale gleich sind, an dem einen, wenn <sup>(sie sind, an dem)</sup> ungleich <sup>(anderen Ausgang)</sup>) geformt, die dann in die Formierungseinheit 26 für Bohrbetrieb kommen. (Das Signal wird von einem der Ausgänge 27 geliefert). Bei dieser Betriebsart formiert das Signal von dem an die ODER-Schaltung 205 und an die UND-Schaltung 206 angeschlossenen Ausgang 27 am Ausgang der ODER-Schaltung 205 einen Freigabesignalpegel für die Einheit 29 am Ausgang 31 und für die Einheit 25 am Ausgang 28. Gleichzeitig erscheint ein Signal am Ausgang der ODER-Schaltung 205, die mit der Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale verbunden ist.

Auf ein am Freigabeeingang der elektronischen Schalter 208 vom Ausgang 28 der Formierungseinheit 26 für Bohrbetrieb eingetroffenes Signal werden die den ergänzten Faktoren entsprechenden Signale in die zweite Speichereinrichtung 21 eingeschrieben und treten an deren Ausgängen 30 auf.

Auf ein vom Ausgang 31 der Formierungseinheit 26 für Bohrbetrieb in der Korrektioneinheit 29 für Faktoren des adaptiven Modells am Steuereingang der Gruppe 82 elektronischer Schalter eintreffendes Signal gelangen die Signale ergänzter Faktorengrößen vom Ausgang 30 der Einrichtung 21 in die zwei Parallelkanäle 84 und 85 des Formers für einen Korrektionswert. In jedem der Kanäle 84, 85 wird bei geschlossenem elektronischem Schalter am Ausgang des Verstärkers 89 ein Eingangssignal erzeugt und bei einer Öffnung des Schalters am Ausgang 32 der Schaltung ein Momentanwert des Eingangssignals zu diesem Zeitmoment gespeichert. Die Signale vom Ausgang 32 der Korrektioneinheit 29 für Faktoren kommen in der Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale an den Eingängen der elektronischen Schalter 40 an, an deren Steuereingängen ein Signal von der Formierungseinheit 26 für Bohrbetrieb anliegt. Nach dem Durchgang durch die Schaltung 40 gelangen die Signale in die Einheiten 37 und 38. Dabei arbeitet gleichzeitig die Einheit 36 zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels, an deren Eingängen Signale vom Ausgang 13 des Lastgebers 6 für den Bohrmeißel, vom Ausgang 14 des Drehzahlgebers, vom Ausgang der Zeitschaltuhr 12, von der Gruppe der Ausgänge 213 des Steuerpultes 9, an denen Pegel von Prozeßkonstanten eingestellt sind<sup>und</sup> vom Ausgang der Recheneinheit 38 für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze anliegen. In der Einheit 36 wird ein Signal für die Abarbeitungsart des Bohrmeißels geformt, das am Ausgang 41 erscheint und auf die UND-Schal-

tung 47 gegeben wird, falls das in der Einheit 36 bestimmte Signal über den Stützenverschleiß des Werkzeuges vor dem Signal über den Ausrüstungsverschleiß eintrifft, und sonst am Ausgang 42 erscheint und auf die UND-Schaltung 48 gegeben wird.

In den Einheiten 37 und 38 werden den Pegeln der Zeitwerte des Stützen- und Ausrüstungsverschleißes des Bohrmeißels für einen Takt des Bohrvorganges entsprechende Signale geformt, die an den eigenen Optimisatoren 210 <sup>(entsprechend dem Verschleiß der Bohrmeißelstütze und -ausrüstung)</sup> ankommen. An den Ausgängen der Optimisatoren 210 treten Signale für Optimalwerte  $n_{opt}$  und  $P_{opt}$  auf, die im Ergebnis einer Optimierung der Steuersignale unter Berücksichtigung des Verschleißes der Bohrmeißelstütze und -ausrüstung erhalten und auf die entsprechenden Gruppen 43 und 44 der elektronischen Schalter gegeben werden. Auf die Steuereingänge der Schalter wird ein Freigabesignal von den entsprechenden Ausgängen der Schaltungen 47 und 48 gegeben. Auf die Eingänge der Schaltungen 47 und 48 gelangt ein Signal für die Abarbeitungsart des Bohrmeißels, und auf ein Signal vom Ausgang der Zeitschaltuhr 12 erscheint in einer der Schaltungen 47 oder 48 ein Signal, das optimale Steuersignale von <sup>(dem)</sup> einem oder dem anderen Kanal 43 bzw. 44 freigibt. Die Optimalwerte  $n_{opt}$  und  $P_{opt}$  werden über Ausgänge 51 und 52 vom Ausgang 11 über die Digital-Analog-Umsetzer 8 auf die Stellmechanismen 4 gegeben.

Die Übertragung der Pegel der Steuersignale von der Einheit 18 erfolgt auf ein Signal von der Zeitschaltuhr 12.

Der Bohrvorgang für eine Kombination von Steuersignalen  $n$  und  $P$  im ersten Takt des Bohrversuches ist im Vergleich zu deren optimaler Kombination in Fig. 1 durch eine Linie  $P_1' \cdot n_1'$  angedeutet.

Nach der Zuführung der Steuersignale <sup>zu</sup> den Stellmechanismen 4 beginnt der zweite in Fig. 1 durch eine Linie  $P_2' \cdot n_2'$  angedeutete Takt des Bohrversuches. Die Stellmechanismen 4 erhalten die im Takt durch die Einheit 10 vorgegebenen Pegel der Steuersignale für die Meißeldrehzahl  $n_2'$  und -belastung  $P_2'$  aufrecht. Das vom Geber 5 ankommende Signal für die mechanische Bohrgeschwindigkeit wird gemittelt und tritt auf ein Signal von der Zeitschaltuhr 12 am Ausgang 18 der Einheit 15 auf. In die Einheit 17 werden über die Ausgänge 23 von der Einrichtung 20 Signale für die Pegel der zu ergänzenden Faktoren des vorhergehenden Taktes eingegeben. Gleichzeitig wird im Kontrollgerät 24 auf Signale von den Ausgängen 14 und 13 der Geber 7 und 6 ein Signal für einen Rechenwert der Bohrgeschwindigkeit geformt, das über den Ausgang 93 in die Einheit 17 eingegeben wird. In der Einheit 17 werden die Faktorengrößen ergänzt, die Reihenfolge der Zusammenwirkung der Elemente ist bei der Arbeit der Einheit die gleiche wie auch im ersten Takt.

Die Signale von der Einheit 17 werden in die Speichereinrichtung 20 eingeschrieben und von deren Ausgang 23 in das Kontrollgerät 24 eingegeben. Im Kontrollgerät 24 werden ähnlich wie im ersten Takt des Betriebes die Werte der berechneten und der laufenden mechanischen Bohrgeschwin-

digkeit verglichen. Auf ein Signal vom Ausgang 27 wird im Kontrollgerät 26 die Betriebsart der Einrichtung formiert.

Sind die Bohrgeschwindigkeiten in zwei aufeinanderfolgenden Takten verschieden, werden an den Ausgängen der Schaltungen 205 und 207 an den Ausgängen 31 und 28 des Kontrollgeräts 26 ankommende Signale geformt, und der Betriebsversuch geht weiter.

Durch die Einheiten 29 und 10 werden neue Pegel der Steuersignale geformt, die Zusammenwirkung der Einrichtungen wird in den Einheiten 29, 10 ebenso wie im ersten Takt der Erprobung verwirklicht.

Auf ein Signal vom Ausgang 212 der Zeitschaltuhr 12 werden die geformten Steuersignale über den Digital-Analog-Umsetzer 8 auf die Stellmechanismen 4 gegeben, und es beginnt der in Fig. 1 durch eine Kombination  $P'_3 \cdot n'_3$  dargestellte dritte Takt des Bohrversuches.

Die Einrichtung arbeitet bei den in Fig. 1 durch die Kombinationen  $P'_4 \cdot n'_4$ ;  $P'_5 \cdot n'_5$ ;  $P'_6 \cdot n'_6$  dargestellten nachfolgenden Takten des Betriebes ebenso wie im zweiten Takt des Bohrversuches. <sup>Über</sup>schreitet die Abweichung der mechanischen Bohrgeschwindigkeit in den zwei nachfolgenden Takten nicht den zulässigen Wert, so hebt der Satz 208 ein Freigabesignal für die UND-Schaltung 207 auf, die Signale bleiben an den Ausgängen 31 und 28 aus, und die Einrichtung wird in den unmittelbaren Bohrbetrieb überführt.

In diesem Takt  $P'_6 \cdot n'_6$  wird hierbei das Signal durch die Einheit 26 von den Ausgängen 31 und 28 abgenommen. In

dieser Betriebsart ändern sich die Signale an den Ausgängen 32 der Einheit 29 nicht, und die Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale an den Ausgängen 11 und 35 sorgt auf ein Signal vom Ausgang 212 der Zeitschaltuhr 12 für deren Änderung im unmittelbaren Bohrbetrieb (Fig. 2). In jedem Takt des Bohrbetriebes wird durch die Einheit 15 die Bohrgeschwindigkeit gemittelt, worüber auf ein Signal der Zeitschaltuhr 12 vom Ausgang 18 zur Einheit 17 signalisiert wird. In der Einheit 17 werden die Faktoren ergänzt und deren neue Größen in die Speichereinrichtung 20 eingeschrieben und gleichzeitig in das Kontrollgerät 24 eingegeben. Im Kontrollgerät 24 wird ein Sperrsignal für die Ausgabe der Signale von den Ausgängen 31, 28 der Einheit 26 formiert. Dies wird dadurch gewährleistet, daß in der Schaltung eines zweistelligen Binärzählers die Pegel des eingeschriebenen und des eingegebenen Signals verglichen werden und

bei Koinzidenz wird ein Verbotssignal für die Ausgabe eines Signals durch die Schaltung 207 geformt, und die Einrichtung arbeitet im Bohrbetrieb weiter. Das Signal wird an die Schaltung für die Einstellwerte <sup>der</sup> (diskret wechselnde Einstellwerte im Bohrbetrieb), die von der Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale <sup>werden</sup> abgegebenen (optimalen Steuersignale) vom Ausgang 212 der Zeitschaltuhr 12 geliefert.

Falls der <sup><</sup> <sup>></sup> <sup>abgeleitete</sup> Wert der mechanischen Bohrgeschwindigkeit (vom Zeitwert des Signals der Bohrgeschwindigkeit) den zulässigen Wert übertrifft, wird das Verbotssignal aufgehoben und die ergänzten Werte der Faktoren von der Speichereinrichtung 21

auf die Korrekturereinheit 29 für Faktoren und ferner auf die Formierungseinheit 10 für optimale Steuersignale übertragen. Danach geht die Einrichtung in den Betrieb einer wiederholten Erprobung über.

Die Einheit 15 für eine diskrete Mittelung der Bohrgeschwindigkeit arbeitet wie folgt. Vom Ausgang des Gebers 5 für mechanische Bohrgeschwindigkeit wird das Signal auf den Eingang der Schaltung 193 gegeben, in der das Signal mit seiner Umhüllenden verglichen und abgelesen wird, was auf dem Operationsverstärker 196 ununterbrochen verwirklicht wird. Das Eingangssignal wird über die Diode 201 durch den Kondensator 200 gespeichert, und gleichzeitig wird das Signal über die Diode 202 durch den Verstärker 196 mit dem Speicherwert verglichen. Die Signaländerung erfolgt zum Zeitpunkt der Erreichung der Nebenmaxima durch das veränderliche Eingangssignal vom Geber 5. Am Ausgang der Einheit 15 erscheint das Signal der gemittelten Bohrgeschwindigkeit auf ein Steuersignal vom Ausgang 195 der Zeitschaltuhr 12.

Die Einheit 17 arbeitet zugleich in zwei Kanälen (Schaltungen 90 und 92). In der Schaltung 90 wird der dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechende Faktor ergänzt.

Auf den Eingang der Schaltung 94 der Einheit 17 wird vom Ausgang 19 im ersten Takt des Bohrversuches ein Signal gegeben, das der vom Steuerpult 9 vorgegebenen Faktorgröße ungefähr entspricht. Das Signal des zu ergänzenden Faktors



wird auf den gleichen Eingang der Schaltung 94 der Einheit 17 in den nachfolgenden Takten vom Ausgang 23 der Speichereinrichtung 20 geliefert. In der praktisch einen Logarithmierungsverstärker darstellenden Schaltung 94 ist dieser aus den <sup>(beiden)</sup> Operationaverstärkern 123 und 132 und aus einem bipolaren npn-Komplementärtransistor 129, 131 aufgebaut. Die Transistoren 129, 131 arbeiten mit verschiedenen Kollektorströmen. Hierbei ist die Basis-Emitter-Spannung zum Logarithmus des Verhältnisses der Kollektorströme der Transistoren 131 und 129 proportional. Der Kollektorstrom des Transistors 131 stellt den Eingangsstrom des Umkehrverstärkers 132 dar, und deshalb ist der Kollektorstrom proportional zum Verhältnis des Eingangssignals für die zu ergänzende Faktorgröße zum Wert des Widerstandes 133. Der Kollektorstrom des Transistors 129 ist dem Verhältnis der Spannung der Quelle 144 zum Wert des Widerstandes 130 proportional, weil das Potential des nicht invertierenden Einganges des Verstärkers 123 nahe Null ist. Hierbei ist die Basis-Emitter-Spannung direkt an den Eingang des als Nichtumkehrverstärker mit einem <sup>Verhältnis der Werte der Widerstände 127 und 126 um eins <sup>(übersteigenden)</sup> Verstärkungsfaktor arbeitenden Verstärkers 123 angelegt und dem Logarithmus von  $2 \cdot \text{Produkt aus dem Verhältnis des Eingangssignals zum Wert des Widerstandes 133 und dem des Widerstandes 130 zur Spannung der Speisequelle 144}$  proportional. Das Signal für die zu ergänzende Faktorgröße erscheint daher nach dem Durchgang durch die Schaltung 94 am Ausgang in Form eines zu einem Produkt aus dem Ver-</sup>

stärkungsfaktor des Operationsverstärkers 123 und der Basis-Emitter-Spannung proportionalen Signals.

Das Signal vom Ausgang der Schaltung 94 gelangt in die Schaltung 114, in der dieses mit einem vom Ausgang 19 der Einheit 16 für eine sukzessive Parametereingabe kommenden Signal multipliziert wird. In der Schaltung 114 ändert sich auf ein der zu ergänzenden Faktorgröße entsprechendes Signal der Innenwiderstand des Transistors 148 von dem bipolaren Transistorpaar 148 und 149. Der Strom von der Quelle 154 wird umverteilt, und zwischen den Kollektoren des Paares entsteht ein dem mit der zu ergänzenden Faktorgröße multiplizierten Verstärkungsfaktor proportionales Differenzsignal. Das am zweiten Eingang der Schaltung 114 ankommende Signal wird auf die Emitter der Transistoren 148 und 149 gegeben, wodurch der Strompegel in den Widerständen 150 bis 151 geändert wird. Der Verstärkungsfaktor der Schaltung 114 ist proportional einem mit dem Verhältnis des am zweiten Eingang der Schaltung 114 ankommenden Signals zum Wert des Widerstandes 155 multiplizierten Festwert. Das Signal am Ausgang der Schaltung 114 ist einem Produkt aus <sup>(den</sup> mit einem Festwert multiplizierten Eingangssignalen proportional. Das Signal vom Ausgang der Schaltung 114 trifft am Summierungsverstärker 98 ein, an dessen anderen Eingängen ein Signal entsprechender Polarität von der Schaltung 119 ankommt. Die erforderliche Polarität des Eingangssignals am Verstärker 98 wird durch den eine Umschaltung einer anzuschließenden Kopplung sichern-

den Schaltkreis 119 und durch den Inverter 101 geformt . Das Signal am Steuereingang des Schaltkreises 119 wird vom Ausgang des Summierungsverstärkers 99 geliefert, an dessen Eingängen ein durch die betreffen<sup>de</sup> Logarithmierungsschaltung 96, 95 vorher umgesetztes Signal für einen gemittelten Wert der Bohrgeschwindigkeit vom Ausgang 18 der Einheit 15 bzw. ein Signal für einen Rechenwert der Bohrgeschwindigkeit vom Ausgang 93 des Kontrollgeräts 24 eintrifft.

Auf den Haupteingang der Schaltung 119 wird ein Signal vom Ausgang des Divisors 118 gegeben, in dem als Dividend ein auf den Eingang des Operationsverstärkers 163 über den Widerstand 162 vom Ausgang der Multiplikationsschaltung 115 und als Divisor ein auf den Eingang der Multiplikationsschaltung 161 vom Ausgang des Summators 100 geliefertes Signal auftritt. Das Signal am Ausgang des Summators 100 erscheint bei einer Belegung seines Einganges mit einem Signal vom Ausgang 14 des Drehzahlgebers 7 für den Bohrmeißel, das vorher in den Schaltungen 97 und 116 umgesetzt wird. Hierbei wird auf den anderen Eingang des Summators 100 ein in der Multiplikationsschaltung 117 umgewandeltes Signal vom Ausgang der Schaltung 94 gegeben.

Das Signal für einen ergänzten Nachgiebigkeitsgrad erscheint am Ausgang 22 der Antilogarithmierungsschaltung 122 beim Auftreten eines Signals am Ausgang des Summators 98. Dieses Signal ist ein Ausgangssignal der Schaltung 90 zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteins ent-

sprechenden Faktors.

In der Schaltung 92 zur Ergänzung eines der Bohrmeißeldrehzahl entsprechenden Faktors wird das Signal für eine durch das Steuerpult 9 vorgegebene Faktorgröße in Analogie zur Schaltung 90 im ersten Takt des Bohrversuches vom Ausgang 19 auf den Summator 170 gegeben. Das Signal für eine zu ergänzende Faktorgröße wird in den nachfolgenden Takten vom Ausgang 23 der Speichereinrichtung 20 an den Eingang des Summators 170 auf den Eingangswiderstand 174 geliefert. Gleichzeitig mit dem Signal für eine zu ergänzende Faktorgröße wird ein Korrektionswert vom elektronischen Schaltkreis 185 auf einen Eingang (Eingangswiderstand 176) direkt und auf den anderen Eingang (Eingangswiderstand 175) über den Inverter 189 gegeben.

Auf den Steuereingang des elektronischen Schaltkreises 185 ist hierbei ein Signal vom Ausgang des Summators 171 gegeben, an dessen Eingang ein einem gemittelten Wert der Bohrgeschwindigkeit proportionales Signal vom Ausgang 18 der Einheit 15 und ein einem Rechenwert der Bohrgeschwindigkeit im Takt proportionales Signal vom Ausgang 93 des Kontrollgeräts 24 anliegen.

Auf den Haupteingang des Schaltkreises 185 wird hierbei ein Signal vom Ausgang des Divisors 192 gegeben. Hierbei bildet sich ein Signal für den Dividenden am Ausgang der Multiplikationsschaltung 186 aus. An den Eingängen der Schaltung 186 kommen ein einer Differenz des gemittelten Wertes der mechanischen Bohrgeschwindigkeit und des Rechen-

wertes der Geschwindigkeit proportionales Signal vom Ausgang des Verstärkers 171 und ein in der Schaltung 168 umgewandeltes Signal vom Ausgang 14 des Gebers 7 an.

Als Signal für den Divisor wird auf die Divisionsschaltung 192 ein Signal vom Ausgang des Summators 172 gegeben, dessen Eingängen ein in der Logarithmierungsschaltung 168 bzw. 169 und in der Multiplikationsschaltung 187 bzw. 188 umgeformtes Signal vom Ausgang 14 des Geber 7 bzw. vom Ausgang 31 der Schaltung 90 zur Ergänzung eines dem Nachgiebigkeitsgrad des Gesteines im Bohrverfahren entsprechenden Faktors und über den Widerstand 181 eine Vorspannung zugeführt wird.

Das Kontrollgerät 24 für Prozeßparameterwerte arbeitet beim Eintreffen der in die Multiplikationsschaltung 54 und in die Schaltung 53 zur Potenzierung vom Ausgang 23 der Einrichtung 20 kommenden, den ergänzten Faktoren proportionalen Signale. Hierbei liegt am zweiten Eingang der Schaltung 54 ein Signal vom Ausgang 13 des Lastgebers 6 an, während auf den zweiten Eingang der Schaltung 53 ein Signal vom Ausgang 14 des Drehzahlgebers 7 für den Bohrmeißel gegeben wird. Die Signale von den Ausgängen 60, 61 der Schaltungen 54, 53 werden in der Multiplikationsschaltung 55 umgewandelt, von deren Ausgang 62 ein Signal auf die Divisionsschaltung 57 geliefert wird und als Dividend auftritt. Der Wert des als Divisor wirkenden Signals kommt vom Ausgang 63 des Summators 59, an dessen einem Eingang eine Vorspannung von der Quelle 68 und an dessen anderem

Eingang ein Signal von der Multiplikationsschaltung 56 für zwei Signale - von der Speisequelle 71 (wo durch den Widerstand 70 die Größe einer einzuführenden Konstanten vorgegeben wird) und vom Ausgang 33 der Formierungseinheit 10 für Steuersignale - zugeführt wird. Vom Ausgang 72 der Schaltung 57 wird ein dem Rechenwert der Bohrgeschwindigkeit proportionales Signal auf den Komparator 58 gegeben, dessen zweitem Eingang ein Signal vom Ausgang 18 der Einheit 15 für eine Mittelung der Bohrgeschwindigkeit zugeführt wird. Das Signal vom Komparator 58 wird auf den Eingang des Schaltkreises 74 geliefert, der die Signalpegel an den Ausgängen 27 bei einer Gleichheit des Rechen- und des gemittelten Wertes der Bohrgeschwindigkeit ändert.

Die zwei Kanäle der Einheit 36 zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels - Kanal zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels nach dem Stützenverschleiß und Kanal zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels nach dem Ausrüstungsverschleiß - arbeiten zugleich. Im Kanal zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels nach dem Stützenverschleiß wird vom Ausgang 213 des Steuerpulses 9 ein Signal über eine einem Festwert der Bohrmeißelstütze entsprechende Konstante und gleichzeitig damit auf den Divisor 223 ein als Dividend auftretendes Signal für eine Bohrmeißeldrehzahl vom Ausgang 14 des Gebers 7 abgegeben.

Das umgesetzte Signal des Divisors 223 wird dem Eingang der Multiplikationsschaltung 225 zugeführt, an deren zweitem Eingang ein im nichtlinearen Element 224 umgewan-

deltes Signal vom Ausgang 13 des Lastgebers 6 anliegt.

Vom Ausgang der Schaltung 225 wird das Produkt der beiden Signale auf den Schaltkreis 221 gegeben. Der Schaltkreis 221 stellt eine Ausgangsschaltung des Kanals dar. Auf den Steuereingang des Schaltkreises 221 wird ein Signal vom Ausgang 212 der Zeitschaltuhr 12 abgegeben. Beim Vorliegen eines Signals am Ausgang 212 im Schaltkreis 221 (ähnlich wie auch im Schaltkreis 222) wird ein von der Schaltung 225 kommendes Eingangssignal integriert. Die Integration erfolgt auf einem Integrator (für den Kanal zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels auf dem Verstärker 240). Bei einer Unterbrechung des Signals vom Steuereingang des Schaltkreises 221 wird das Signal an dem Ausgang gleich Null, worauf im Schaltkreis 221 die Integration des Eingangssignals wiederholt wird.

Im zweiten Kanal wird hierbei am Ausgang 14 des Gebers 7 ein der Bohrmeißeldrehzahl proportionales Signal abgenommen, das nach der Umsetzung in den Schaltungen 227 und 228 in den Summator 229 gelangt. Die Summierung erfolgt im Summator 229 mit entsprechenden Verstärkungsfaktoren nach den Eingängen.

Das Signal vom Ausgang des Summators 229 wird auf den Eingang der Multiplikationsschaltung 230 mit einem vom Ausgang 213 des Steuerpultes 9 eingetroffenen Signal gegeben. Der am Ausgang der Schaltung 230 erhaltene Signalwert wird auf einen Eingang des Divisors 231 geliefert und stellt die Größe des Dividenden dar. Am zweiten Eingang des Divisors

231 liegt dabei ein Signal vom Ausgang der Multiplikations-schaltung 234 für zwei Signale an, von denen eines vom Ausgang des Summators 233 und das andere vom Ausgang des Summators 236 ankommt.

Das Signal am Ausgang des Summators 233 erscheint bei der Abgabe eines Signals vom Ausgang der Multiplikations-schaltung 232 für zwei Signale - ein Signal vom Ausgang 13 des Lastgebers 6 und ein Signal vom Ausgang 213 des Steuerpultes 9, das mit einem Signal vom anderen Ausgang des Pultes 9 summiert wird.

Das Signal für den zweiten Multiplikator der Schaltung 234 erscheint bei einer Summation eines Signals über die Konstante vom Widerstand 237 und eines Signals vom Ausgang 213 sowie eines Signals vom Ausgang 33 und eines Signals über den laufenden Ausrüstungsverschleiß. Das Signal vom Ausgang des Divisors 231 kommt durch den ähnlich wie der Schaltkreis 221 arbeitenden Schaltkreis 222 zum Eingang des Komparators 248 mit einem Schaltkreis durch, dessen anderem Eingang ein dem Wert der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Stützenverschleiß proportionales Signal zugeführt wird.

An den Ausgängen des Komparators 248 mit dem Schaltkreis ändert sich das Signal in Abhängigkeit vom Verhältnis der am Eingang des Schaltkreises vom Kanal zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels nach dem Stützenverschleiß und vom Kanal zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels nach dem Ausrüstungsverschleiß ankommenden Signale.



Die Recheneinheit 37 für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze (ebenso wie auch nach der Ausrüstung) arbeitet bei einer Belegung des Kreises 211 mit einem Signal vom Ausgang 41 der Einheit 36, das beim Vorliegen eines vom Ausgang 212 der Zeitschaltuhr 12 ankommenden Freigabesignals den Schalter 214 passiert und auf einem aus dem Inverter 217 aufgebauten Integrator gespeichert wird. Hierbei erfolgt eine Speicherung eines Signals über den laufenden Verschleiß für eine durch die Schaltdauer des Kreises über den elektronischen Schalter 214 festgelegte Arbeitszeit. Das Signal gelangt über den Inverter 220 in den Optimisator 210, in den auch von den Ausgängen 213 des Steuerpultes 9 den bei der Auffindung optimaler Steuersignale benutzten Festwerten entsprechende Signale eingegeben werden. Gleichzeitig gelangen in den Optimisator 210 von den Ausgängen der Einheit 40 Signale für ergänzte Faktorengrößen. Im Optimisator 210 werden optimale Steuersignale mit Rücksicht darauf ermittelt, daß der zulässige Verschleiß der Bohrmeißelstütze im Bohrverfahren früher als der zulässige Verschleiß der Bohrmeißelausrüstung eintritt. Der Optimisator 210 bestimmt die auf die Ausgänge 35 beim Eintreffen eines neuen Wertes vom Ausgang der Recheneinheit 37 für optimale Einstellwerte bei der Abarbeitung des Bohrmeißels nach dem Verschleiß seiner Stütze ausgegebenen optimalen Steuersignale unter Berücksichtigung des Verschleißes der Bohrmeißelstütze.

Analog werden auch die optimalen Steuersignale unter

- 80 -

Berücksichtigung des Verschleißes der Bohrmeißelausrüstung geformt. In Abhängigkeit vom Signal der Einheit 36 zur Bestimmung der Abarbeitungsart des Bohrmeißels werden die optimalen Steuersignale an die Stellmechanismen 4 von den Ausgängen der elektronischen Schaltelemente 43 und 44 geliefert.

Die vorliegende Erfindung gestattet es, die Bohrleistung, insbesondere bei einer Tiefbohrung, durch Ausnutzung optimalen Bohrbetrieb für eine jede zu bohrende Gesteinsplatte sowie durch eine rationelle Ausnutzung der Lebensdauer des Werkzeuges zu erhöhen.

-84-  
Leerseite

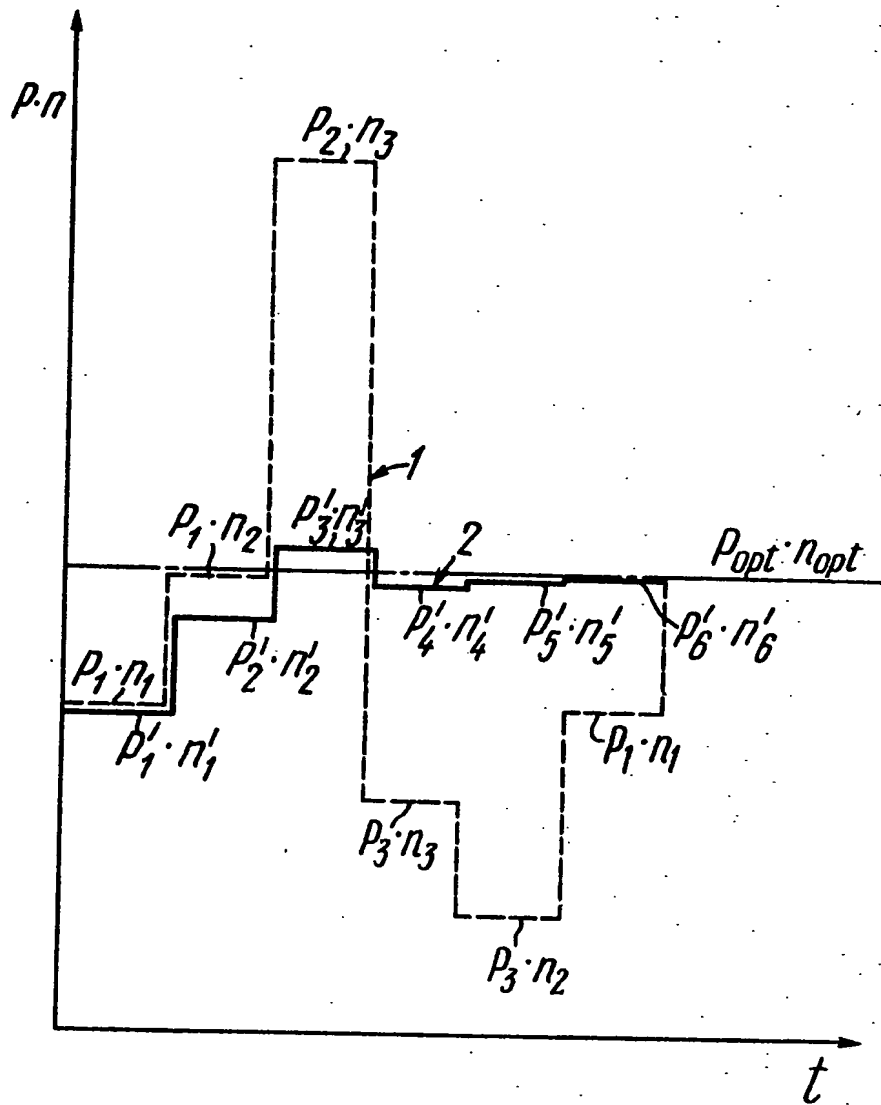


FIG. 1

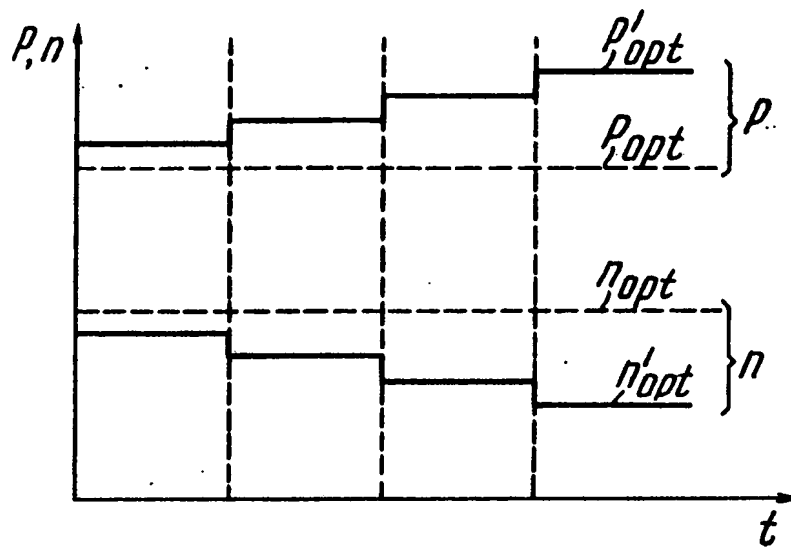


FIG. 2

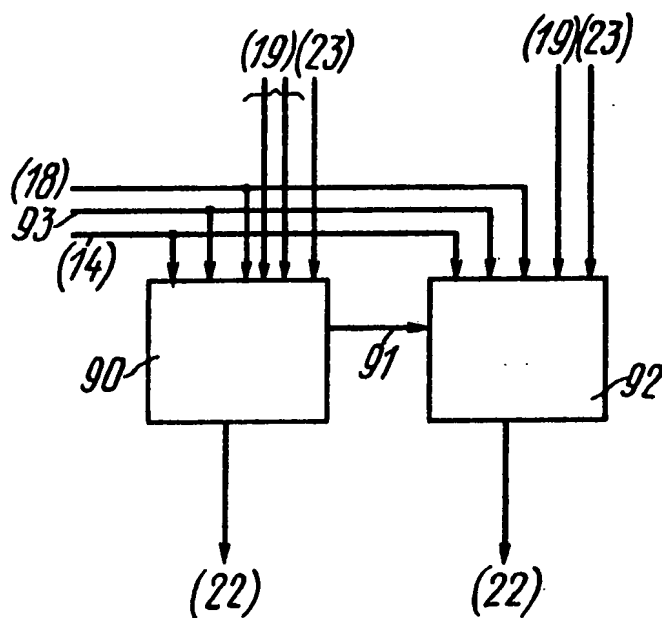
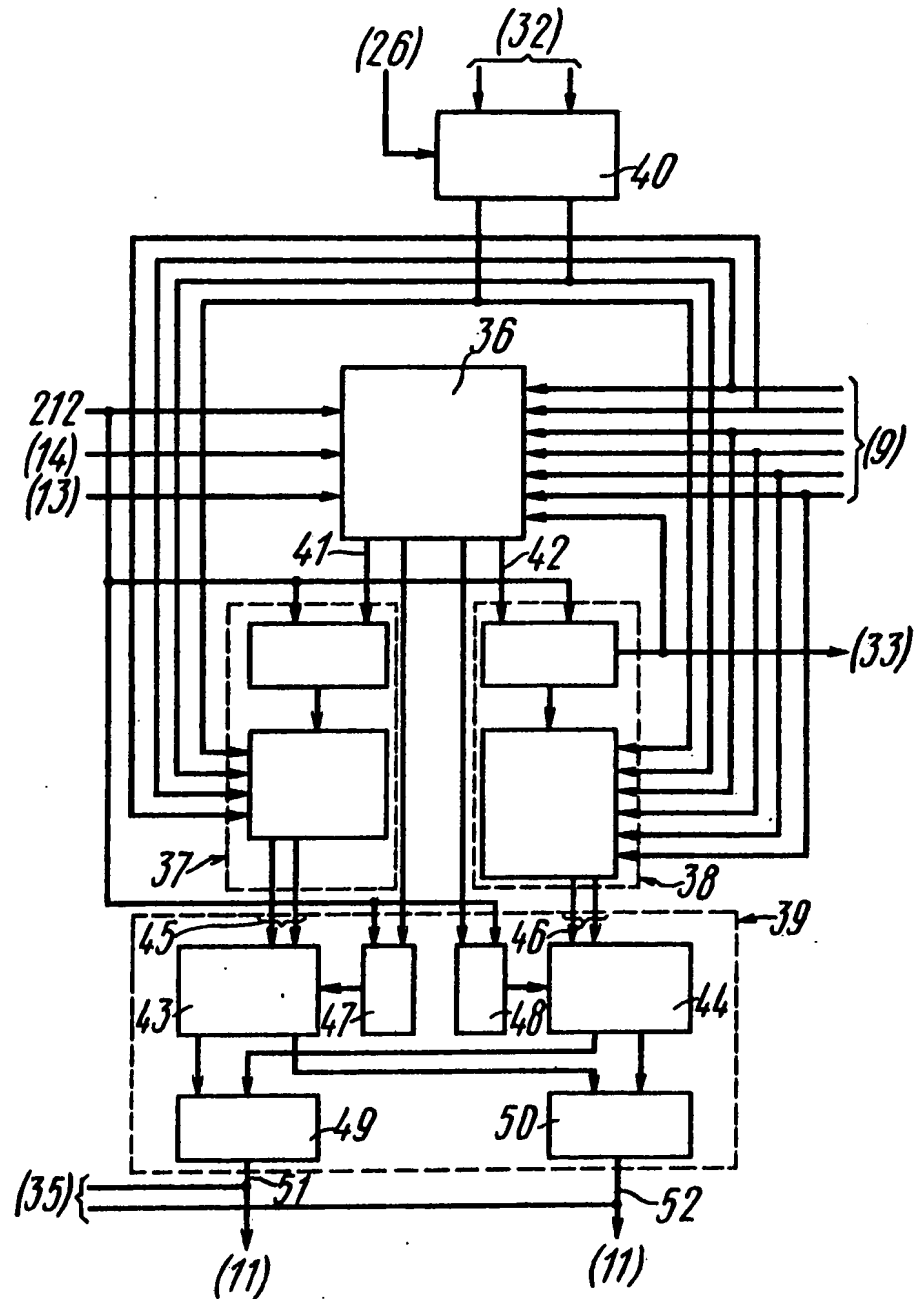


FIG. 8



**FIG. 3**







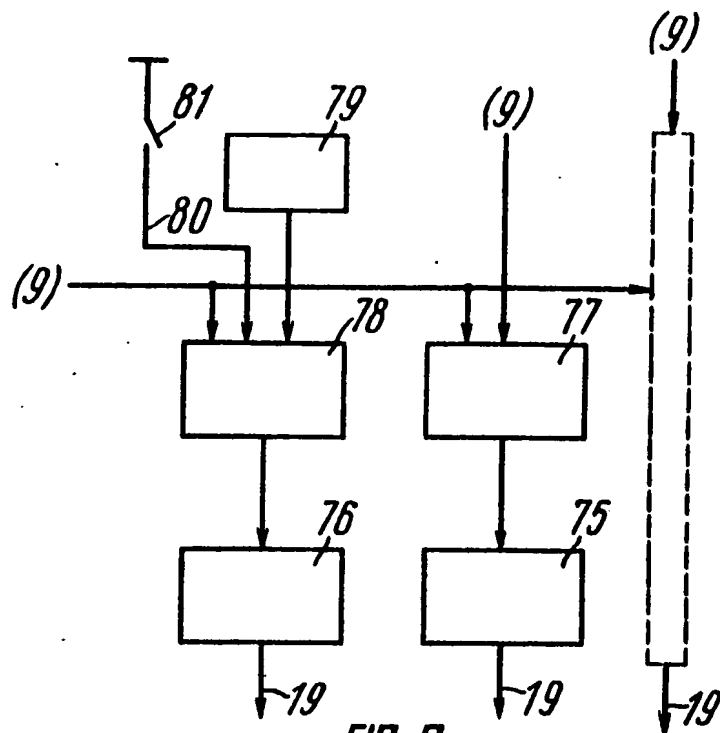


FIG. 6

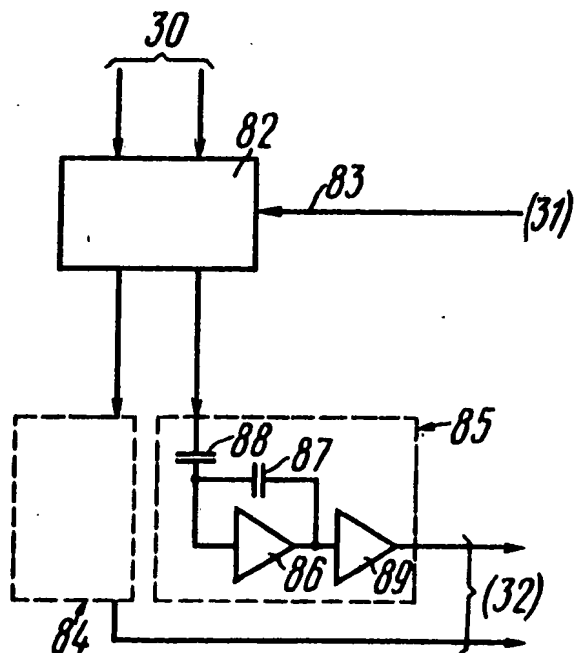


FIG. 7

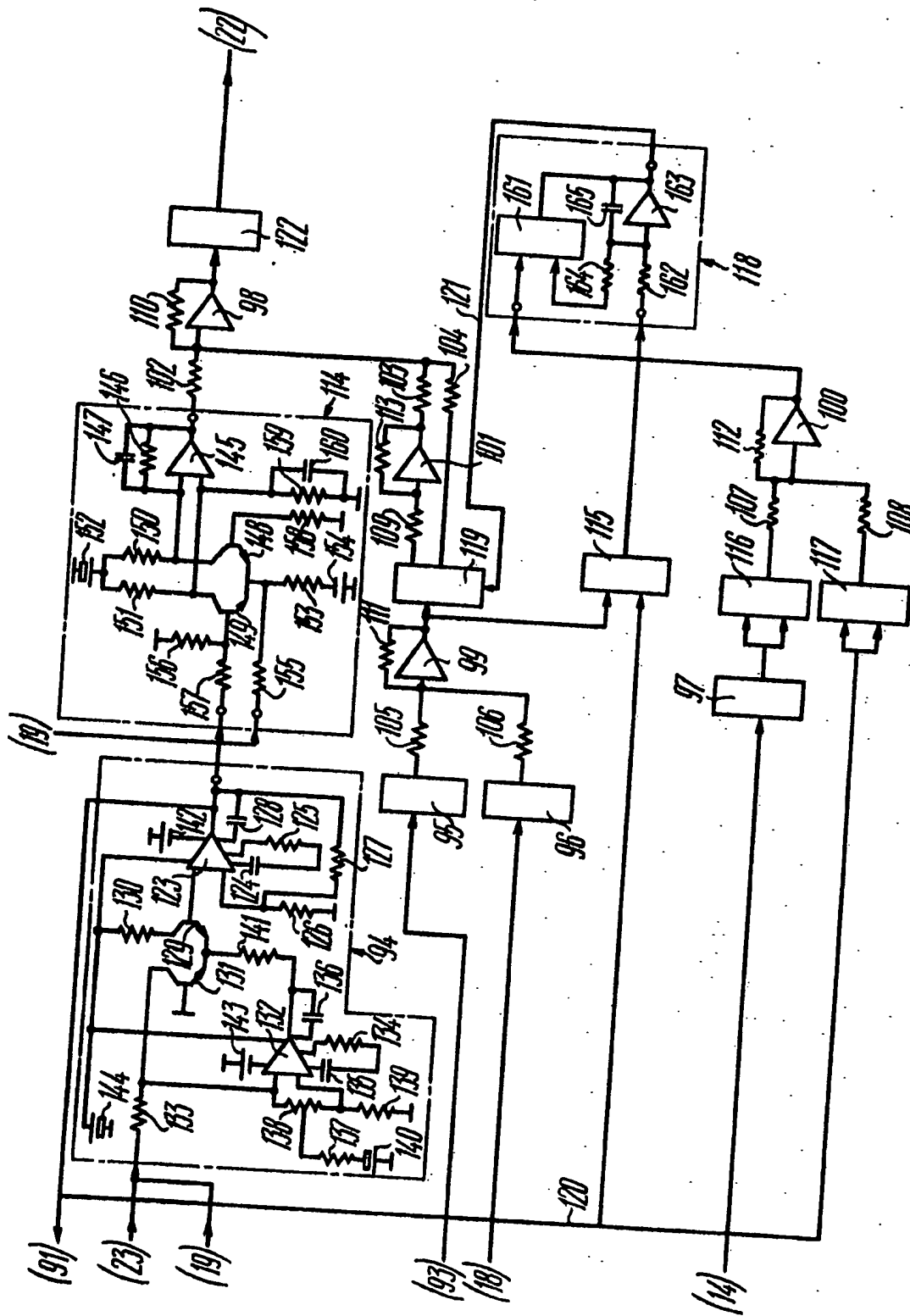
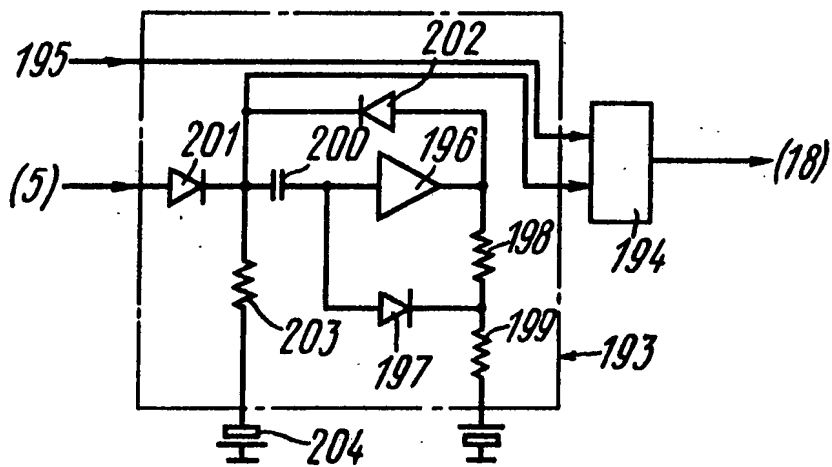
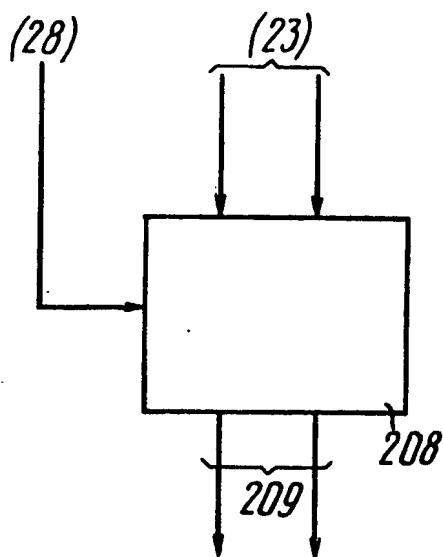
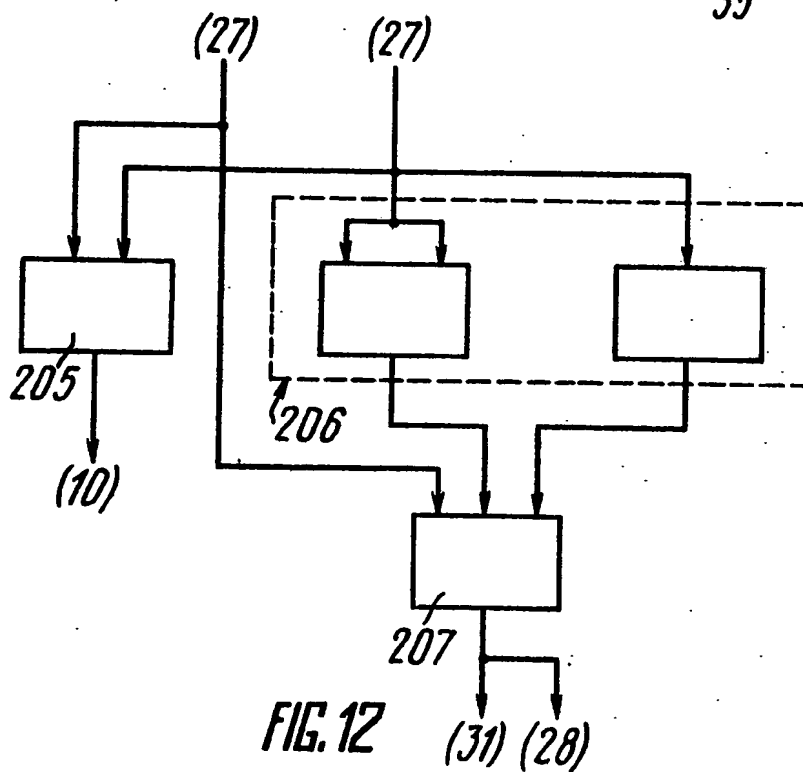
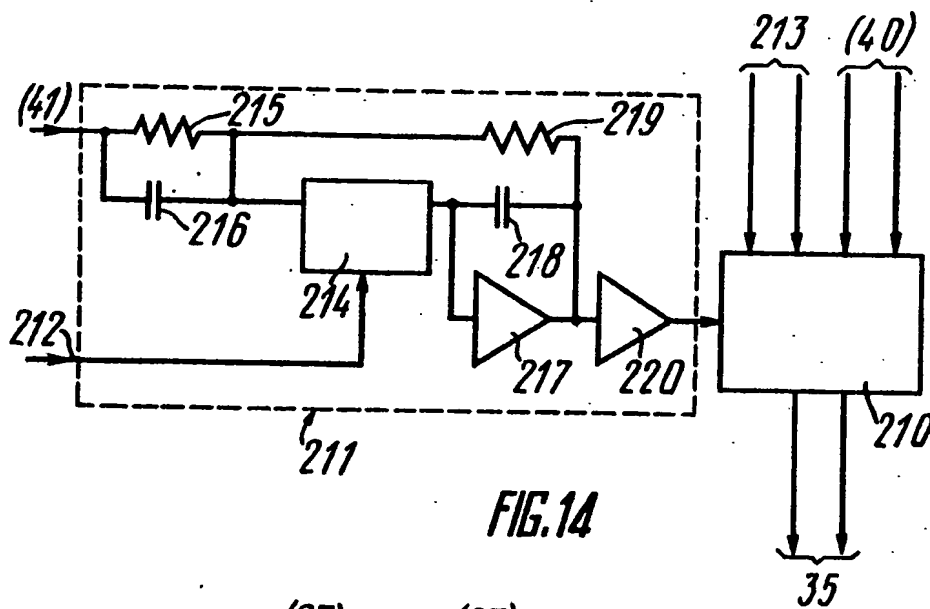


FIG. 9





BEST AVAILABLE COPY

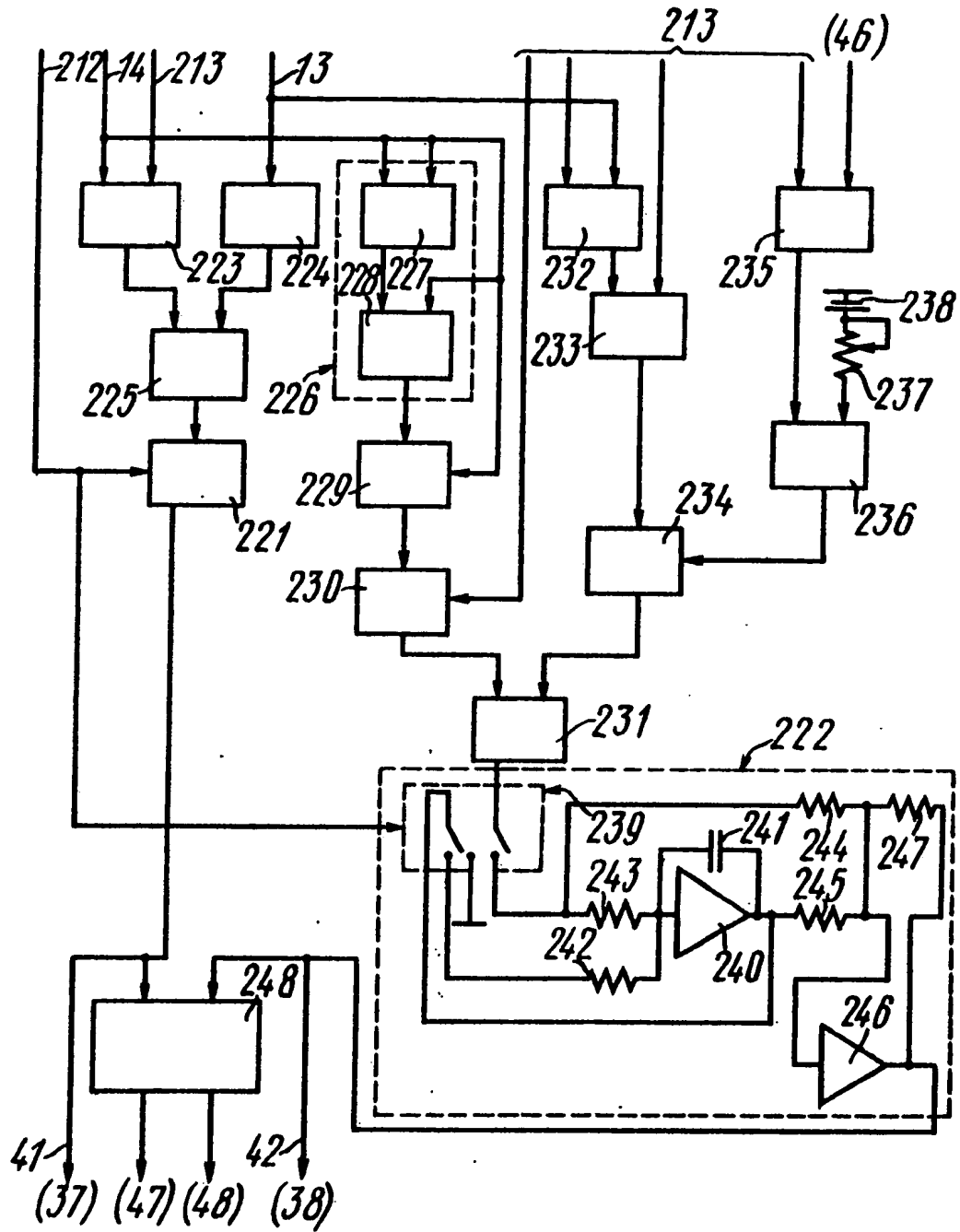


FIG. 15